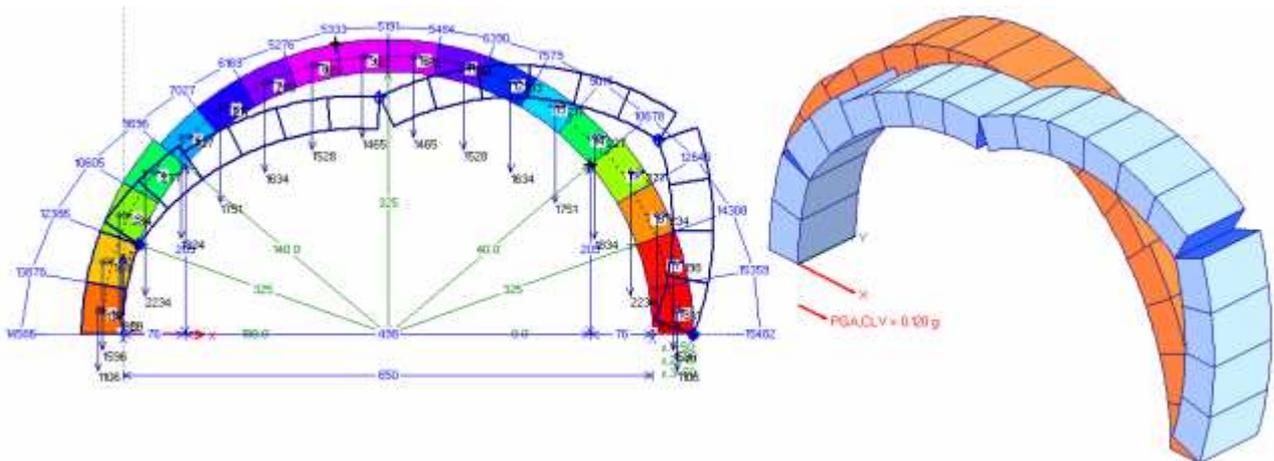


AEDES Software



STABILITA' DI ARCHI E VOLTE IN MURATURA

Conforme alla **nuova Normativa Tecnica**



Manuale di SAV

Volume 2. Manuale d'uso

Manuale di SAV

Piano dell'opera:

Volume 1. Teoria

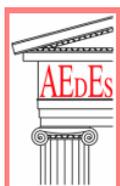
Questo volume: ► **Volume 2. Manuale d'uso**

Volume 3. Esempi applicativi - Procedure di validazione

Tutti i diritti sono riservati, anche di riproduzione parziale, a norma di legge e delle convenzioni internazionali. Nessuna parte di questo volume può essere riprodotta in qualsiasi forma o mezzo elettronico o meccanico, per alcun uso, senza il permesso scritto della AEDES Software per Ingegneria Civile.

Edizione 2012

Autore: Ing. Francesco Pugi



© **AEDES** Software per Ingegneria Civile
Via F. Aporti 32 - 56028 SAN MINIATO (PI)
Tel.: **0571.401073** - Fax: **0571.401173**
E-mail: **info@aedes.it** - Internet: **www.aedes.it**

AVVERTENZE E CONDIZIONI D'USO

La AEDES Software si riserva il diritto di apportare miglioramenti o modifiche al programma SAV, descritto nella documentazione ad esso associata, in qualsiasi momento e senza preavviso.

Il software e la documentazione allegata, anche se curati con scrupolosa attenzione, non possono comportare specifiche responsabilità di AEDES per involontari errori o inesattezze: pertanto, l'utilizzatore è tenuto a controllare l'esattezza e la completezza del materiale utilizzato. Le correzioni relative ad eventuali errori tipografici saranno incluse nelle versioni di aggiornamento.

SAV è di esclusiva proprietà della AEDES e viene concesso in uso non esclusivo secondo i termini e le condizioni riportati nel contratto di licenza d'uso. L'utente non avrà diritto ad utilizzare SAV fino a quando non avrà sottoscritto la suddetta licenza d'uso.

L'utente è responsabile della scelta di SAV al fine del raggiungimento dei risultati voluti, nonché dell'installazione, dell'uso dello stesso e dei relativi risultati.

Le sole garanzie fornite dalla AEDES in merito a SAV sono quelle riportate nella licenza d'uso. La AEDES non garantisce che le funzioni contenute in SAV soddisfino le esigenze dell'utente o funzionino in tutte le combinazioni che possono essere scelte per l'uso da parte dell'utente.

I nomi dei prodotti citati nella documentazione di SAV possono essere marchi di fabbrica o marchi registrati dalle rispettive Società.

INDICE

1. GENERALITA' 6

- 1.1. AMBIENTE DI LAVORO 7

2. FINESTRA PRINCIPALE 9

- 2.1. BARRA DEGLI STRUMENTI 9
- 2.2. NAVIGATORE 14
- 2.3. COMANDI COMUNI 15
 - 2.3.1. Menu FILE 15
 - 2.3.2. Menu FINESTRA 15
 - 2.3.3. Menu ? 16

3. FINESTRA PROGETTO 17

- 3.1. Dati PROGETTO 18
- 3.2. BARRA DEGLI STRUMENTI DELLA FINESTRA PROGETTO 18
- 3.3. Menu FILE 19
- 3.4. Menu MODIFICA 22
- 3.5. Menu ESEGUI 22
 - 3.5.1. PARAMETRI DI CALCOLO 23
- 3.6. Menu OPZIONI 32
 - 3.6.1. Finestra GALLERIA 33

4. FINESTRA STRUTTURA 36

- 4.1. Scheda VOLTA 36
- 4.2. Scheda ARCO 36
 - 4.2.1. FINESTRA COORDINATE 37
 - 4.2.2. Arco CIRCOLARE A TUTTO SESTO 39
 - 4.2.3. Arco CIRCOLARE A SESTO RIBASSATO 40
 - 4.2.4. Arco CIRCOLARE ZOPPO 41
 - 4.2.5. Arco CIRCOLARE A SESTO ACUTO 42
 - 4.2.6. Arco POLICENTRICO 44
 - 4.2.7. Arco ELLITTICO 47
 - 4.2.8. Arco DEFINITO PER PUNTI 48
 - 4.2.9. PIATTABANDA 51
- 4.3. Scheda MURI / PIEDRITTI 52
- 4.4. Scheda CONTORNO 53
- 4.5. Schede MURATURA (1), (2) 54
 - 4.5.1. Finestra TABELLA MATERIALI 55
- 4.6. Scheda RINFORZI 56

5. GESTIONE DEI CARICHI 58

- 5.1. FINESTRA CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI 58
 - 5.1.1. Menu MODIFICA 64
 - 5.1.2. Menu UNIFICA 65
- 5.2. FINESTRA CONCI 65
- 5.3. FINESTRA COMBINAZIONE DI CONDIZIONI DI CARICO 66

6. ESECUZIONE DI ANALISI E VERIFICHE DI SICUREZZA 68

- 6.1. MODELLO DI CALCOLO 68
- 6.2. ELABORAZIONE DI CALCOLO 70
- 6.3. RAPPORTO DI ELABORAZIONE 71
 - 6.3.1. VERIFICHE DI SICUREZZA 73
 - 6.3.1.1. ANALISI CINEMATICA. INDICATORI DI RISCHIO SISMICO 74
 - 6.3.1.2. ANALISI IN ASSENZA DI DATI SU T_R (EUROCODICI) 75

-
- 6.4. Finestra RELAZIONE 77
 - 6.4.1. DATI: PROGETTO, STRUTTURA, CARICHI (CCE e CCC) 77
 - 6.4.2. DATI: CARICHI NEI CONCI (CCE) 83
 - 6.4.3. PARAMETRI DI CALCOLO 83

7. GRAFICA 88

- 7.1. RAPPRESENTAZIONE DELL'ARCO 89
- 7.2. Menu OPZIONI 90
 - 7.2.1. TIPO DI DISEGNO 91
 - 7.2.2. PARAMETRI DI DISEGNO 91
- 7.3. DIAGRAMMI DI RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI 95
 - 7.3.1. CURVA DELLE PRESSIONE 95
 - 7.3.2. DIAGRAMMA SFORZO NORMALE 97
 - 7.3.3. DIAGRAMMA ANGOLI DI SCORRIMENTO 99
 - 7.3.4. DIAGRAMMA TENSIONI DI COMPRESSIONE 99
- 7.4. Menu IMMAGINE 101
- 7.5. ALTRI COMANDI DI MENU 102
- 7.6. INFORMAZIONI SUL TIPO DI DISEGNO CORRENTE 102
- 7.7. Finestra LEGENDA 103
- 7.8. FILES DXF 103
 - 7.8.1. INPUT DA FILE DXF 103
 - 7.8.2. OUTPUT SU FILE DXF 104

8. SUGGERIMENTI SULL'USO INFORMATICO 106

- 8.1. COME FARE PER... 106
 - 8.1.1. SALVARE UNA SCHERMATA 106
 - 8.1.2. INSERIRE NELLA RELAZIONE LE FIGURE DELLE FINESTRE GRAFICHE 106
 - 8.1.3. MIGLIORARE LA VISUALIZZAZIONE DEI DIAGRAMMI 106
 - 8.1.4. VISUALIZZARE LE REAZIONI D'IMPOSTA 106
- 8.2. SOLUZIONI IN CASO DI DIFFICOLTA' 107
 - 8.2.1. CONSIGLI SULLA SUDDIVISIONE IN CONCI 107
 - 8.2.2. CONSIGLI SULL'INPUT DA FILE DXF 107
 - 8.2.3. PROCEDIMENTO ITERATIVO NON CONVERGENTE 107
 - 8.2.6. IMPOSSIBILE APRIRE PIÙ ISTANZE DI SAV 107

9. SUGGERIMENTI SULL'USO INGEGNERISTICO 108

- 9.1. COME FARE PER... 108
 - 9.1.1. SCHEMATIZZARE LA GEOMETRIA DELLA VOLTA 108
 - 9.1.2. CONSIDERARE CARICHI MOBILI PER PONTI IN MURATURA 109
 - 9.1.3. DIMOSTRARE IL MIGLIORAMENTO SISMICO 109
 - 9.1.4. STUDIARE ARCHI NON RICONOSCIBILI NELLE GEOMETRIE PREFISSATE 109
 - 9.1.5. INCERTEZZE SUI PARAMETRI DI RESISTENZA DELLA MURATURA 109
- 9.2. SOLUZIONI IN CASO DI DIFFICOLTA' 110
 - 9.2.1. NON SI RIESCE A DIMOSTRARE LA VERIFICA DI UN ARCO NELLA REALTA' STABILE 110
 - 9.2.2. MOLTIPLICATORE DI COLLASSO Nullo PER CARICHI VERTICALI 110
 - 9.2.3. VERIFICA AD ATTRITO NON SODDISFATTA 111
 - 9.2.4. OSSERVAZIONI SULLE SIMMETRIE 111

CONVENZIONI TIPOGRAFICHE

Nel testo vengono richiamati paragrafi del D.M.14.1.2008 (NTC08) attraverso il simbolo **§** seguito dal numero del paragrafo (seguendo l'impostazione delle norme, **§C** indica il corrispondente paragrafo della Circolare applicativa di NTC08). Ad esempio:

Per il periodo proprio T1 dell'intera struttura può essere adottato il valore semplificato secondo §7.3.3.2 (...)

I riferimenti ai paragrafi del presente Manuale d'uso sono invece preceduti dal simbolo p.:

La consultazione dei risultati attraverso il Rapporto di Elaborazione è descritta nel p. 6.3 di questo Manuale (...)

Per i riferimenti bibliografici, si utilizzano le parentesi quadre con sigla identificativa dell'opera:

[8] significa il riferimento bibliografico 8; quando si fa riferimento ad un paragrafo specifico dell'opera, al riferimento bibliografico segue il simbolo §: [8],§9.3.4 indica il paragrafo 9.3.4 dell'opera [8].

Le note bibliografiche sono elencate nel Vol. 1 del Manuale di SAV (paragrafo 1.2)

Le seguenti simbologie evidenziano note, osservazioni e approfondimenti:



Suggerimento

Consigli per ottimizzare l'utilizzo del software.



Nota bene

Osservazioni e note che è opportuno conoscere.



Importante!

Da sapere: informazioni tecniche, approfondimenti, riferimenti normativi.



Attenzione

Da sapere assolutamente: aspetti particolarmente delicati.

1. GENERALITA'

Il software SAV, dedicato all'analisi di stabilità di archi e volte in muratura e fondato sulla Teoria di Heyman, è orientato verso la valutazione statica delle strutture voltate e degli eventuali interventi di rinforzo richiesti, con attenzione alle verifiche richieste in zona sismica.

La tipologia strutturale viene correttamente studiata considerandola costituita da componenti rigidi (i conci) in grado di trasmettersi soltanto forze di compressione (attraverso le interfacce).

Ne deriva un'indipendenza del calcolo da presunti moduli di elasticità della muratura, ma non solo: secondo la teoria di Heyman, la capacità resistente della muratura è sostanzialmente indipendente dalla sua resistenza a compressione. La verifica diviene quindi di tipo geometrico, nell'ambito della statica grafica che da sempre ha guidato la concezione e la realizzazione di queste tipologie strutturali.

La sinergia fra la corretta impostazione di queste strutture (elementi rigido-fragili) e il moderno metodo agli elementi finiti liberano dalla necessità di presupporre schemi simmetrici o soggetti a carichi predeterminati o con posizioni di fessurazione (cerniere) definite a priori, consentendo invece un'analisi generalizzata che conduce anche ai moltiplicatori di collasso per carichi verticali e per azioni orizzontali. Quest'ultima opportunità è direttamente collegata all'analisi sismica della struttura.

Seguendo un'impostazione comune ai vari settori dell'analisi strutturale, in SAV i carichi (di superficie, lineari e concentrati, variamente disposti sull'estradosso della pavimentazione della volta) vengono definiti in Condizioni di Carico Elementari (CCE), e ad ogni carico è possibile associare l'effetto del moltiplicatore in direzione verticale o orizzontale. Le CCE vengono combinate in Combinazioni di Condizioni di Carico (CCC), che costituiscono appunto i casi di carico analizzati; l'esecuzione dell'analisi risolve in una sola istanza tutti gli archi della volta per tutte le CCC, ed esegue se richiesto il calcolo dei moltiplicatori di collasso.

La procedura è fondata sulla verifica di stabilità, e include verifiche opzionali su attrito e compressione. Sono inoltre previste le principali tecniche di rinforzo: oltre alle tradizionali catene o cappa in calcestruzzo, è possibile progettare le dimensioni dei nastri in FRP da porre in intradosso o estradosso per il consolidamento della struttura.

L'argomento FRP è oggetto di costante evoluzione. In prima approssimazione, le fibre possono essere considerate strutture che in associazione alla volta muraria sono in grado di assorbirne gli sforzi di trazione. Utilizzando il software, restano quindi agevolmente definite le zone strettamente interessate dalla trazione della fibra, fermo restando che gli ancoraggi necessari suggeriscono in linea di principio il prolungamento dei nastri fino ad interessare il completo sviluppo dell'arco.

Il software SAV consente inoltre la verifica dei piedritti, sottoposti sia in sommità alle azioni di imposta provenienti dagli archi, sia a forze aggiuntive; le forze aggiuntive potrebbero per esempio provenire da archi di campate adiacenti. L'arco può inoltre essere studiato 'singolarmente', oppure affiancato ad altri analoghi, per costituire una superficie voltata soggetta a carichi di superficie variamente disposti. Questa tecnica consente ad esempio l'analisi degli impalcati voltati sia per edifici sia strutture da ponte, potendo disporre i carichi in posizioni qualsiasi e quindi anche parzialmente agenti sull'orizzontamento portato dalla volta. Per l'approfondimento di alcuni aspetti (fra cui le verifiche nei piedritti e l'analisi di ponti in muratura) si rimanda agli esempi descritti in dettaglio nel CD allegato. Per le strutture da ponte o per archi inseriti in pareti murarie complesse si terrà presente che SAV considera reagente la volta muraria, mentre l'eventuale struttura ad essa sovrastante è trattata come generatrice di carico. Come per ogni altro software di analisi strutturale, l'utilizzo basato su un'appropriata conoscenza del modello, delle sue potenzialità e del suo corretto campo applicativo, conduce a risultati che possono essere adeguatamente utilizzati per la definizione dei parametri di sicurezza.

I più recenti sviluppi di SAV riguardano l'adeguamento della procedura di valutazione del moltiplicatore di collasso orizzontale alla nuova Normativa Sismica (D.M. 14.1.2008 e Circ. 617 del 2.2.2009). L'analisi di stabilità secondo i meccanismi di collasso dei corpi rigidi è perfettamente congruente con l'approccio cinematico presente nelle nuove disposizioni [§C8A.4]; il calcolo dell'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo, con la completa definizione del cinematisimo di collasso, è particolarmente importante ai fini delle analisi di vulnerabilità sismica. E' infatti possibile giungere alla definizione della capacità in termini di accelerazione al suolo (PGA) o di periodo di ritorno (T_R), fino al calcolo degli Indicatori di Rischio Sismico.

Le principali caratteristiche di SAV sono:

Dal punto di vista ingegneristico:

- * Verifica di Stabilità di Archi in Muratura. **Analisi statica** sotto un sistema di forze, con definizione del poligono funicolare e delle caratteristiche di sollecitazione nei conci dell'arco, secondo il **metodo** messo a punto e sperimentato dai Prof. Paradiso e Prof. Tempesta del Dipartimento di Costruzioni, Facoltà di Architettura, Università degli Studi di Firenze, **fondato sulle ipotesi di J.Heyman**. Superamento dei limiti dei metodi tradizionali (ad esempio, il metodo di Mery).
- * Carichi verticali ed orizzontali, distribuiti e/o concentrati, generici ed in posizione qualsiasi, per archi anche non simmetrici, con angoli alle imposte qualsiasi. Geometria degli archi: a **tutto sesto**; a **sesto acuto**; a **sesto policentrico**; a **sesto ellittico**, con spessore costante o variabile; piattabande. Oltre a tali geometrie notevoli, direttamente selezionabili nel programma, anche **curvatura generica** via input da file DXF.
- * Definizione del **moltiplicatore di collasso** per carichi sia verticali, sia orizzontali. **Analisi sismica** con definizione degli Indicatori di Rischio Sismico in termini di PGA e di periodo di ritorno T_R . Calcolo delle azioni sui piedritti.
- * Particolarmente indicato per la corretta valutazione degli **interventi su strutture a volta** inserite in organismi edilizi monumentali.

Dal punto di vista informatico e gestionale:

- * **Input** immediato per **geometrie notevoli, o grafico da file DXF** o tabellare per altri tipi di arco, con visualizzazione interattiva in 2D e 3D.
- * Possibilità di eseguire il calcolo in tempo reale, con aggiornamento **interattivo dei risultati** in base ai dati.
- * Tutte le **elaborazioni grafiche** sono parametrizzabili ed esportabili su dxf, compatibili con i programmi di CAD, e su bitmap: *semplicissimo corredare di disegni la Relazione di Calcolo!*
- * **Relazione di calcolo** su files rtf, compatibile con word-processor (come Microsoft Word), già formattata e pronta per la stampa. Completa di descrizione dei metodi di calcolo utilizzati.
- * **Guida in linea** completa di **Manuale d'uso** ed **Esempi Applicativi**, con numerose illustrazioni, consultabile con Adobe Acrobat Reader®.
- * Come per tutti i software AEDES, **supporto tecnico su Internet**, al sito: www.aedes.it, dove apposite pagine sono dedicate alle **FAQ** (domande e risposte più frequenti).

1.1. AMBIENTE DI LAVORO

SAV opera con una disposizione di finestre ottimizzata, che l'Utente può comunque variare come preferisce. Come ogni altro programma progettato per il sistema operativo Windows, SAV può essere aperto contemporaneamente ad altri software; pertanto l'effettivo aspetto dello schermo, nel corso dell'uso di SAV, dipende dalla configurazione in quel momento determinata dall'utente.

Nella schermata di SAV, sotto al titolo e alla barra dei menu sono presenti:

- in alto e ai lati, le **barre degli Strumenti**, che consentono l'esecuzione rapida dei comandi principali di SAV;
- in basso, la **barra dei Messaggi di Stato**, dove vengono riportati i riferimenti alle più significative operazioni svolte durante la sessione di lavoro con SAV;
- le due **finestre grafiche (1) e (2)**, equivalenti, che consentono la vista contemporanea di piante, prospetti e/o viste tridimensionali;
- le **finestre di testo** per l'inserimento di dati e di tabelle. Le finestre di testo sono le seguenti: **Dati Progetto, Dati Struttura, Carichi nei Conci, Tabella Materiali, Condizioni di Carico Elementari, Combinazioni di Condizioni di Carico**.

Ad esse si aggiunge la finestra **Relazione**, dove si visualizza il testo della relazione elaborata sia per la fase di Stampa sia per le Informazioni riguardanti il disegno correntemente visualizzato nella finestra grafica attiva. Queste finestre sono ognuna dotata di proprio menu.

Vi è poi la **finestra Coordinate**, che può essere attivata solo per particolari geometrie (arco policentrico o definito per punti) dall'apposito pulsante posto nella scheda 'Arco' della finestra Dati Struttura, per l'editazione degli archi elementari che costituiscono l'arco nel suo complesso.

La finestra **Navigatore** - che in qualsiasi momento può essere aperta o chiusa, generando corrispondentemente il ridimensionamento delle altre finestre presenti - consente un accesso immediato alle varie sezioni del programma: la sequenza dei vari comandi rispetta l'ordine: "dati - risultati" e quindi costituisce un valido punto di riferimento per l'esplorazione delle varie funzionalità di SAV corrispondenti alle fasi progressive del lavoro.

La **finestra Dati Progetto è la principale**: essa contiene i comandi fondamentali di creazione, apertura e salvataggio delle strutture, ed il comando di uscita dal programma. *Ogni sessione di SAV inizia con l'attivazione della finestra Dati Progetto*, e termina con la sua chiusura attraverso l'apposito comando Esci (CTRL + Q) del menu File, equivalente all'uso del pulsante grafico .

In SAV vengono inoltre utilizzate **finestre di dialogo**, per richiedere l'inserimento dei dati necessari per continuare le operazioni, o per visualizzare informazioni. Questo tipo di finestre non è dotato di specifici menu.

- **Stampa su file**, dove si selezionano i capitoli da stampare nella relazione di calcolo; si ricorda che SAV non invia direttamente il testo di relazione alla stampante, ma crea un file (di tipo RTF) da gestire con word-processor;
- **Parametri di Calcolo**, dove si inseriscono e selezionano i parametri in base ai quali verrà eseguito il calcolo;
- **Tipo di Disegno**, dove si sceglie il tipo di disegno che si vuole eseguire nella finestra grafica attiva;
- **Parametri di Disegno**, dove si selezionano le opzioni di rappresentazione grafica inerenti il tipo di disegno correntemente visualizzato nella finestra grafica attiva;
- **Rapporto di elaborazione**, dove - al termine del calcolo - si riportano i risultati di tutte le verifiche eseguite;
- **Legenda**, che per ogni tipo di disegno fornisce le modalità di 'lettura' della grafica rappresentata.

L'operatività nell'ambiente SAV è supportata dal **Manuale d'uso**, disponibile su files .pdf, e accessibile attraverso il comando del menu Manuali della finestra Progetto.

2. FINESTRA PRINCIPALE

2.1. BARRA DEGLI STRUMENTI

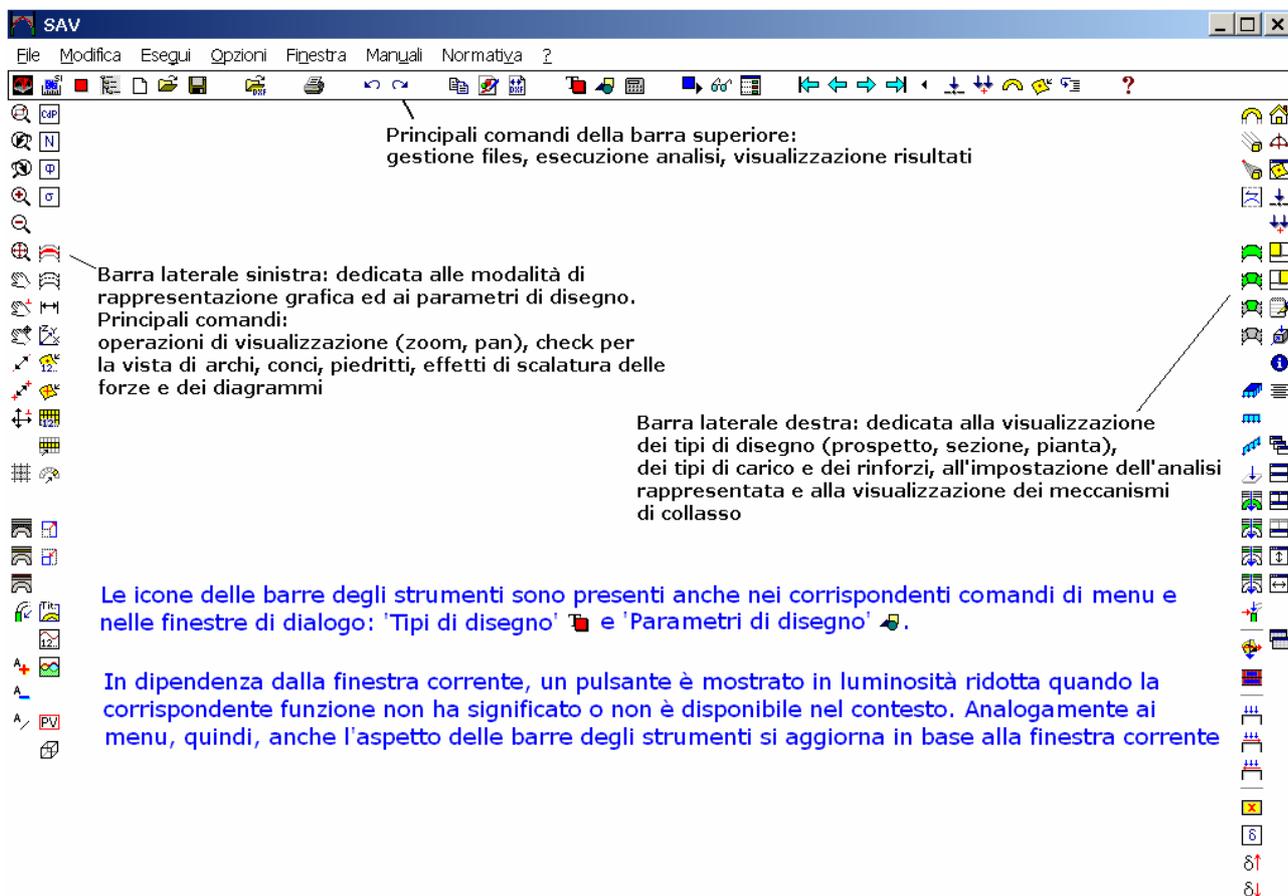


Fig. 2.1.1. Finestra principale: barre degli strumenti

Attraverso le barre degli strumenti, SAV consente l'accesso ai principali comandi; le icone corrispondenti sono presenti anche nei comandi di menu (a seconda del contesto, è possibile che alcune icone non siano presenti). I **menu** delle singole finestre sono **dinamici**, e si riferiscono quindi alle operazioni effettivamente consentite dalla finestra corrente (la finestra corrente è quella che presenta la barra del titolo evidenziata. Ad esempio, richiamando la finestra Dati Struttura questa diviene la finestra corrente; analogamente, facendo clic su una finestra Grafica, il fuoco va alla finestra grafica stessa).

Barra superiore = Standard



Progetto di SVM = l'icona è presente solo se il progetto riguarda un arco generato da SVM, il software AEDES dedicato alle volte a crociera, ed è un'immagine senza funzionalità di pulsante. Un progetto di SVM è un arco diagonale, un arco perimetrale o una lunetta generati dall'esportazione di SVM verso SAV. Laddove SVM non esegua verifiche particolari, quali consolidamento con FRP o analisi sismiche, è quindi possibile procedere con SAV agendo sugli archi componenti (archi da lunette, archi diagonali, archi perimetrali). Per maggiori informazioni si rimanda alla documentazione di SVM.

Sistema di Unità di misura: Sistema Tecnico (S.T.) o Sistema Internazionale (S.I.) = Cambia le unità di misura delle grandezze che variano a seconda del sistema di unità, e corrispondentemente aggiorna i dati interessati nelle finestre.

Il cambio delle unità di misura comporta la necessità di riesecuzione del calcolo, a causa del fatto che tutti i files di output devono essere riprodotti coerentemente con le unità correnti.

 ,  **Analisi NON eseguita** (nessun risultato disponibile: icona rossa), oppure: **Analisi eseguita** (risultati disponibili: icona verde).

 **Apri/Chiudi Navigatore** = apre o chiude, alternatamente, la finestra Navigatore contenente l'albero dei comandi. Quando il Navigatore è aperto, il pulsante si presenta premuto. Le operazioni di apertura e chiusura del Navigatore comportano il ridimensionamento delle finestre aperte.

 **Nuovo progetto**,  **Apri progetto**,  **Salva progetto** = è possibile aprire e salvare files in formato standard di SAV (estensione .sav) o compresso (estensione .z05), in uno dei seguenti percorsi:
Aedes2012\Sav\Progetti = destinato a contenere i progetti dell'Utente;
Aedes2012\Sav\Es-Apprendi = preinstallato da SAV con gli esempi di apprendimento all'uso;
Aedes2012\Sav\Es-Progetti = preinstallato da SAV con gli esempi di progettazione.
Per salvare o archiviare progetti in altri percorsi, si consiglia il salvataggio su formato compresso, e la successiva gestione del file risultante (avente estensione .z05) mediante 'Esplora Risorse' di Windows.

 **Input da file DXF** = consente l'input da un file DXF appositamente generato via CAD ai fini dell'input in SAV. I files DXF di input sono utilizzati per descrivere archi la cui geometria non è riconoscibile in una curvatura notevole, e deve quindi essere definita per punti.

 **Stampa** = apre la finestra di dialogo per le impostazioni di stampa, finalizzata alla creazione della Relazione di Calcolo. SAV non esegue stampe dirette sull'hardware collegato alla macchina, ma opera creando il file .rtf che può poi essere gestito con i normali word-processor (quali Microsoft © Word).

 **Annulla**,  **Ripristina** = annulla l'ultima modifica effettuata oppure la ripristina. Ci sono più livelli operativi, e quindi è possibile annullare progressivamente o ripristinare, una dopo l'altra, tutte le ultime modifiche effettuate nella sessione corrente.

 **Copia negli Appunti** = copia l'immagine corrente negli Appunti, ad esempio al fine di incollarla in un documento di Word contenente una relazione.

 **Salva su file BMP**,  **Salva su file DXF** = i comandi consentono l'output su file bitmap o vettoriale.

 **Tipo di Disegno** = apre la finestra di dialogo 'Tipo di Disegno' dove è possibile scegliere i diversi tipi di rappresentazione della struttura (prospetto, sezione, vista 3D, pianta).

 **Parametri di Disegno** = apre la finestra di dialogo 'Parametri di Disegno', organizzata in schede, dove è possibile impostare i criteri di rappresentazione grafica.

 **Parametri di Calcolo** = apre la finestra di dialogo 'Parametri di Calcolo', organizzata in schede, dove è possibile impostare i criteri di analisi e verifica strutturale, in base ai quali verranno eseguite le elaborazioni di calcolo.

 **Esegui Analisi** = avvia l'esecuzione delle analisi richieste, secondo le specifiche fornite nei Parametri di Calcolo.

 **Mostra Risultati Analisi** = mostra i risultati dell'analisi correntemente selezionata (analisi corrente). L'analisi deve ovviamente essere stata richiesta (check selezionato nei Parametri di Calcolo) e quindi eseguita.

 **Mostra Rapporto di Elaborazione** = apre una finestra di riepilogo dove sono mostrati i segnalatori in colore verde / rosso che per le diverse verifiche eseguite evidenziano se sono soddisfatte o meno. Vengono inoltre mostrati, se richiesti, i valori numerici dei moltiplicatori di collasso.

Per l'analisi sismica, in una apposita tabella, vengono elencati gli Indicatori di Rischio, insieme ai valori della capacità della struttura in termini di PGA e T_R .

La scheda dei risultati viene aggiornata cambiando combinazione di condizioni di carico (CCC; questo relativamente alla sola analisi statica), oppure cambiando arco (nel caso di volta costituita da più archi ideali). Per l'analisi sismica, i risultati della verifica vengono resi coincidenti con la configurazione più sfavorevole (in altre parole, in presenza di più archi ideali i risultati sono determinati dall'arco più debole).

Diagrammi:     **Curva delle Pressioni, Sforzo Normale, Angoli di Scorrimento, Tensioni di Compressione**

 **Fuso** = visualizza un fuso interno all'arco. Lo spessore del fuso è inferiore a quello dell'arco, p.es. pari a 1/3 per identificare in ogni sezione il terzo medio e quindi per vedere in tal caso se la curva delle pressioni è interna al terzo medio. Per lo spessore del fuso possono essere usati anche altri valori, specificabili nei Parametri di Disegno.

   **Asse, Quotatura, Assi globali XYZ**

       **Conci: Numerazione, Conci: Baricentro, Archi ideali: Numerazione, Evidenzia Arco ideale corrente, Evidenzia Concio corrente**

Forze e Carichi:   **Amplifica, Riduci** = l'entità dell'amplificazione e della riduzione è numericamente definibile nei Parametri di Disegno.

  **Titolo disegno, Mostra valori nei diagrammi**

 **Involuppo dei Risultati** = poiché per ogni progetto (singolo arco o volta a botte scomposta in più archi) vengono processate più CCC per più archi, questo comando consente l'**involuppo dei risultati**, in modo tale da comparare tutte le azioni e le sollecitazioni calcolate. In particolare, **le verifiche dei piedritti vengono rappresentati solo con involuppo attivo**. Nel caso di rinforzo con FRP, SAV progetta la disposizione dei nastri e quindi, al di là della consultazione delle singole combinazioni statiche o sismiche, interessante per capire l'origine della progettazione dei rinforzi, la modalità Involuppo mostra l'ingombro complessivo di progetto, l'ingombro cioè che tiene conto di tutte le combinazioni di carico esaminate. Peraltro, l'involuppo compara fra loro risultati coerenti, cioè i risultati relativi agli ultimi passi di iterazione del metodo di risoluzione adottato (per la descrizione del quale si rimanda alla manualistica estesa di SAV). Ovviamente, ogni arco costituente la volta fornisce risultati validi solo se stabile. Ricordiamo che la stabilità della struttura nel suo insieme richiede che tutti gli archi che la compongono, per tutte le CCC cui sono sottoposti, risultino stabili.

  **3D: Punto di vista standard, Wireframe** = modalità di rappresentazione grafica.

Barra laterale destra (1) = Gestione Finestre



Finestra:

 **Progetto**,  **Struttura**,  **Conci**,
 **Condizioni di Carico Elementari**,  **Combinazioni delle Condizioni di Carico**

 **Finestre Grafiche 1 e 2**,  **Relazione**,  **Tabella Materiali**,

 **Informazioni**,  **Legenda** = aprono le corrispondenti finestre. Corrispondono ai comandi del menu

Finestra. Il comando  che restituisce il fuoco alla **finestra Progetto**, è frequentemente utilizzato, dal momento che la finestra Progetto contiene tutti i principali comandi di gestione dei files (apertura, salvataggio, impostazioni varie) e dell'ambiente (ad esempio, la chiusura di SAV).

 **Sovrapposti**,  **Affianca** = ridispongono le finestre secondo i comandi standard di Windows.

 **Disponi tutte le finestre** = ricompone dimensioni e posizioni delle finestre aperte secondo lo schema predefinito di SAV (le due finestre grafiche in alto, le finestre testuali dei dati in basso).

 **Disponi singola finestra** = torna alle dimensioni predefinite della finestra corrente.

 **Cambia altezza finestra**,  **Cambia larghezza finestra** = aumentano o riducono rispettivamente l'altezza e la larghezza della finestra, spostandone anche la posizione. Per ognuno dei due comandi, eseguendolo più volte, i tre assetti della finestra da esso consentiti vengono applicati in modo ciclico.

 **Copia immagine tabella** = pone in memoria l'immagine corrente della tabella dati. Il comando è disponibile in tutte le finestre contenente dati in formato tabellare.

Barra laterale destra (2) = Varie



Dati:

 **Prospetto / Sezione (Vista 2D)**,  **Vista 3D: Assonometria - Prospettiva**,  **Pianta** = modalità di rappresentazione della struttura voltata (volta con arco, o più archi, e/o piedritti e fondazioni).

Rappresentazioni dell'arco:

 **Arco completo**,  **Arco completo con conci**,  **Singolo concio**,  **Nessun concio** = il disegno dell'Arco completo implica una colorazione dell'arco secondo il colore del materiale, perdendo la possibilità di rappresentare a colori i risultati correnti nell'arco stesso (non influenzando invece sulla colorazione dei piedritti). Il disegno dell'Arco completo è disponibile solo in modalità grafica 2D. Il disegno del Singolo concio propone in luminosità ridotta il resto della struttura qualora sia selezionata la modalità Wireframe (, barra strumenti laterale sinistra).

Carichi:  **di superficie**,  **lineari X**,  **lineari Y**,  **concentrati**,

Pesi propri:  **Volta**,  **Rinfianchi**,  **Sottofondo**,  **Pavimentazione**,

 **Carichi aggiuntivi sui piedritti** = i carichi visualizzati corrispondono alla CCE corrente.

 **Conci: azioni di calcolo** = le azioni di calcolo sono le forze agenti sui singoli conci nella CCC corrente.

 **Rinforzi in FRP** = nel caso di rinforzo in FRP, vengono mostrate le zone di posizionamento dei nastri, come elaborate dall'analisi, individuate dalle massime dimensioni richieste secondo le combinazioni esaminate (statiche e sismiche). Negli archi rinforzati con FRP, SAV progetta la disposizione dei nastri e quindi, al di là della consultazione delle singole combinazioni statiche o sismiche, interessante per capire l'origine della progettazione dei rinforzi, la modalità 'Involuppo dei Risultati' () mostra l'ingombro complessivo di progetto, l'ingombro cioè che tiene conto di tutte le combinazioni di carico statiche e sismiche esaminate.

Analisi:

 **Statica**,  **Sismica +X**,  **Sismica -X** = imposta l'analisi corrente. Ovviamente, la selezione dell'analisi consente la visualizzazione dei risultati solo se la corrispondente elaborazione di calcolo è stata eseguita.

 **Analisi al collasso** = mostra l'analisi corrispondente allo stato di collasso statico o sismico, a seconda dell'analisi correntemente selezionata. La configurazione della curva delle pressioni mostrata corrisponde allo stato subito prima del collasso (quindi all'assetto staticamente ammissibile tale che un successivo incremento del moltiplicatore conduce al collasso della struttura).

 **Meccanismo di collasso** = esegue la rappresentazione grafica del cinematismo, dovuto alla formazione di 4 cerniere. Il meccanismo di collasso si attiva per valori del moltiplicatore (di azioni verticali o sismiche) superiori al moltiplicatore di collasso.

 **Amplifica/Riduci spostamenti cinematici** = effetto grafico sul cinematismo di collasso.

2.2. NAVIGATORE

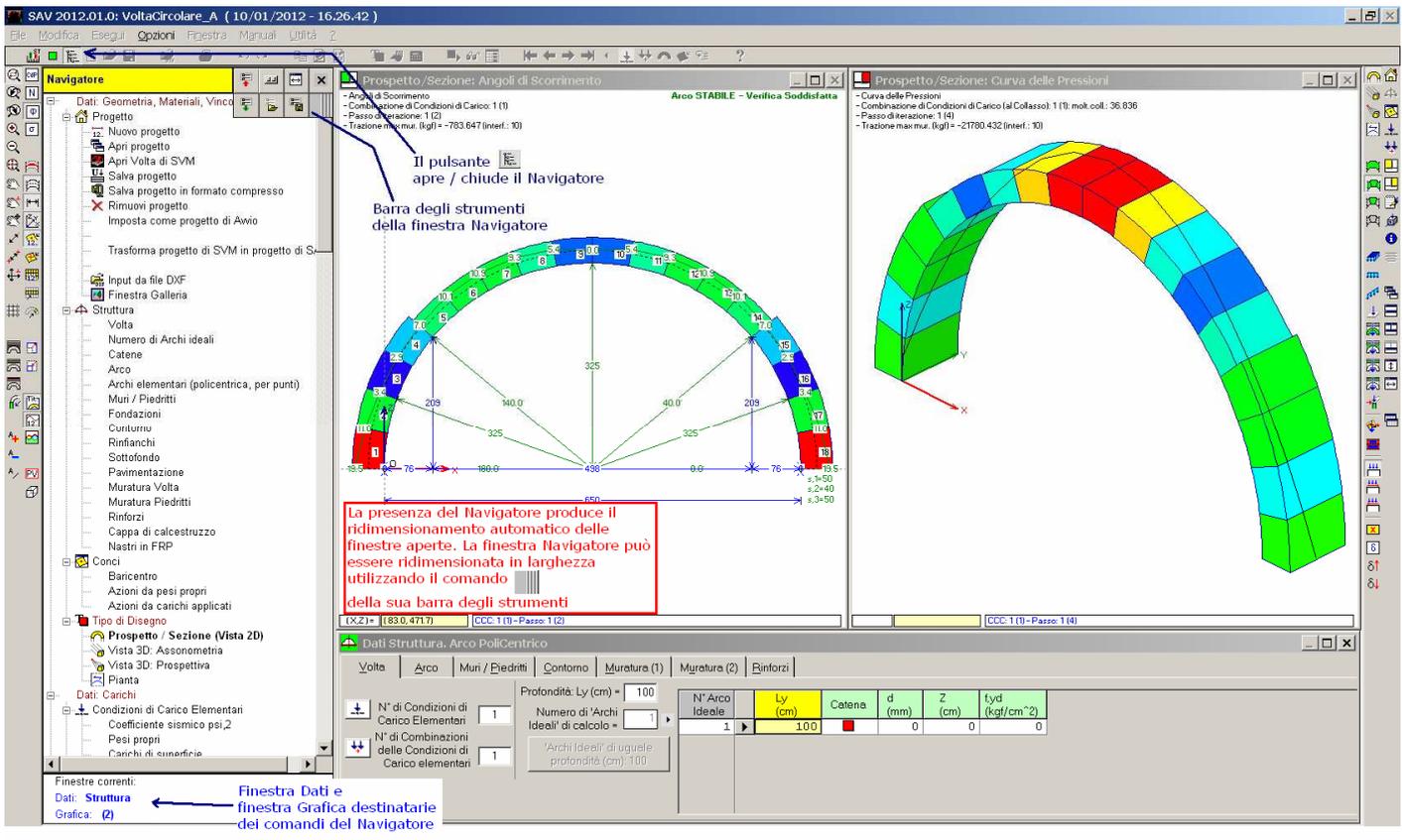


Fig. 2.2.1. Finestra Navigatore (albero dei comandi)

Il comando della barra strumenti superiore apre / chiude la finestra Navigatore, consistente nell'**albero dei comandi** del programma. I comandi sono presentati in ordine logico, corrispondente alle diverse fasi successive di analisi di un progetto; i rami principali dell'albero sono i seguenti:

- Dati: Geometria, Materiali, Vincoli
- Dati: Carichi
- Dati: Parametri di Calcolo
- Grafica
- Analisi
- Risultati
- Post-elaborazioni grafiche
- Ambiente operativo
- Guida in linea (Manuali)

I comandi recano a lato, se prevista, l'icona rappresentativa, in coerenza con le icone delle barre degli strumenti e dei menu.

Le finestre Dati e Grafica destinarie del comando scelto nel Navigatore sono indicate in basso.

La barra degli strumenti del Navigatore appare in modo completo solo quando il mouse si sposta sopra di essa; i suoi comandi sono i seguenti:

Comprimi Navigatore, **Espandi Navigatore** = modificano con un unico comando l'elenco dell'albero: la compressione riduce l'albero ai soli rami principali; l'espansione apre invece tutti i comandi.

Agendo sui tasti , è ovviamente possibile modificare i comandi elencati, aprendo (⊕) e chiudendo (⊖) i diversi rami.

Barre degli strumenti = apre la finestra di dialogo per l'impostazione delle barre degli strumenti della finestra principale (il comando coincide con l'analogo comando della barra degli strumenti della finestra Progetto).

 **Carica personalizzazione** = reimposta il Navigatore caricando l'elenco personalizzato, precedentemente salvato con 'Salva personalizzazione'.

 **Salva personalizzazione** = salva la configurazione corrente dell'elenco del Navigatore, per un eventuale successivo caricamento secondo la reimpostazione dell'albero personalizzata.

 **Cambia larghezza Navigatore** = cambia automaticamente la larghezza del Navigatore, reimpostandola su valori predefiniti. L'Utente può modificare a piacere la larghezza della finestra Navigatore utilizzando il pulsante 'Trascinamento'; l'altezza è invece fissa ed occupa lo spazio destinato alle finestre di SAV.

 **Chiudi Navigatore**

 **Trascinare per ridimensionare** = il pulsante consente l'operazione di ridimensionamento in larghezza.

2.3. COMANDI COMUNI

2.3.1. Menu FILE

Il menu File si presenta in formato esteso nella finestra Progetto, a cui si rimanda per la descrizione completa dei comandi. Nelle altre finestre, il menu si compone di due comandi:



Fig. 2.3.1. Menu File

il primo restituisce il fuoco alla finestra Progetto, che contiene i principali comandi di gestione dei files (apertura, salvataggio, impostazioni varie); alla finestra Progetto si accede direttamente anche dal comando  della barra strumenti.

Il secondo comando consente il salvataggio dei dati correnti senza la necessità di tornare alla finestra Progetto; l'operazione di salvataggio viene comunque effettuata in modo diretto tramite il pulsante  della barra strumenti.

2.3.2. Menu FINESTRA



Fig. 2.3.2. Menu Finestra

I comandi aprono le corrispondenti finestre. I tasti di scelta rapida costituiscono una valida alternativa alla selezione del comando di menu o al clic sul corrispondente pulsante della barra strumenti laterale destra: ad esempio, CTRL+S apre direttamente la finestra Struttura.

2.3.3. Menu ?

Il menu ? si presenta esteso nella finestra Progetto, cui si rimanda per la descrizione completa dei comandi.

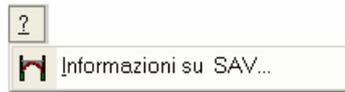


Fig. 2.3.3. Menu ?

Il comando 'Informazioni su SAV', comune fra le varie finestre, fornisce il numero di abilitazione hardware o software (tale codice può essere richiesto dalla AEDES per lo svolgimento del servizio di assistenza), mentre il comando 'Informazioni su Windows' (accessibile dalla finestra Progetto) fornisce il riconoscimento del sistema operativo utilizzato.

I manuali della Guida di SAV, forniti su files pdf, vengono aperti attraverso i comandi appositi dei menu Manuali e Normativa della finestra Progetto.

3. FINESTRA PROGETTO

La **finestra Progetto** contiene i comandi fondamentali di creazione, apertura e salvataggio di progetti, ed il comando di uscita dal programma. *Ogni sessione di SAV inizia con l'attivazione della finestra Progetto*, e termina con la sua chiusura tramite il comando Esci (CTRL + Q) del menu File, equivalente all'uso del pulsante grafico .

SAV 2012 è installato nella cartella (obbligatoria) \Aedes2012\Sav, mentre i **Progetti** dell'Utente vengono **archiviati**, in un formato proprio del programma, **nella sottocartella \Aedes2012\Sav\Progetti**

Ad ogni struttura, identificata da Nome, corrispondono:

- il file principale dei dati (generalità, parametri di calcolo, geometria, materiali, vincoli): **\Progetti\Nome.sav**
 - in una sottocartella denominata Nome, i files riguardanti le Condizioni di Carico (files Nome.c01, Nome.c02, ...),
 e le Combinazioni delle Condizioni di Carico (Nome.ccc):

\Progetti\Nome\Nome.c01 = Condizione di Carico 1

\Progetti\Nome\Nome.c02 = Condizione di Carico 2

ecc.;

\Progetti\Nome\Nome.ccc = Combinazioni delle Condizioni di Carico

In tale sottocartella vengono create ulteriori sottocartelle con files contenenti i risultati del calcolo, distinti per i singoli archi ideali costituenti la volta.

Facendo riferimento ad una installazione avvenuta sul disco C: e alla versione Aedes2012, si ha:

C:\Aedes2012\Sav = cartella di installazione del programma

C:\Aedes2012\Sav\Progetti = cartella dove sono localizzati i files dei progetti dell'Utente.

C:\Aedes2012\Sav\Output\Nome = sottocartella contenente files di output prodotti da SAV (immagini bmp, relazioni rtf, disegni dxf)

In C:\Aedes2012\Sav\Progetti, facendo riferimento al progetto *NomeProgetto*, i principali files sono i seguenti [in colore rosso sono indicati i files indispensabili per l'archiviazione di tutti i dati del progetto: parametri di calcolo, geometria, vincoli, materiali, carichi]:

\NomeProgetto.sav = dati generali del progetto (file indispensabile)

\NomeProgetto.bmp = immagine associata al progetto (file opzionale generato dal salvataggio del progetto)

\NomeProgetto.out = elenco di tutti i files progressivamente elaborati dall'analisi

\NomeProgetto = sottocartella contenente i seguenti files:

\NomeProgetto.Cxx = carichi della condizione di carico elementare n°xx (esempio: C01 per la CCE 1)

\NomeProgetto.CCC = matrice delle combinazioni delle condizioni di carico

\Arco_i = sottocartella contenente i risultati dell'analisi relativi all'arco ideale i-esimo:

\NomeProgetto.Axx = azioni sui conci relativi alle singole CCC statiche

\NomeProgetto.ASP = azioni sui conci relativi alla CCC sismica +X

\NomeProgetto.ASM = azioni sui conci relativi alla CCC sismica -X

\NomeProgetto.Bxx = risultati delle singole CCC statiche

\NomeProgetto.BSP = risultati della CCC sismica +X

\NomeProgetto.BSM = risultati della CCC sismica -X

\NomeProgetto.Hxx = sintesi verifiche e moltiplicatori di collasso per singole CCC statiche

\NomeProgetto.HSP = sintesi verifiche e moltiplicatori di collasso per CCC sismica +X

\NomeProgetto.HSM = sintesi verifiche e moltiplicatori di collasso per CCC sismica -X

\NomeProgetto.Xxx = azioni sui conci prima del collasso per le singole CCC statiche

\NomeProgetto.XSP = azioni sui conci prima del collasso per la CCC sismica +X

\NomeProgetto.XSM = azioni sui conci prima del collasso per la CCC sismica -X

\NomeProgetto.Yxx = risultati prima del collasso per le singole CCC statiche

\NomeProgetto.YSP = risultati prima del collasso per la CCC sismica +X

\NomeProgetto.YSM = risultati prima del collasso per la CCC sismica -X

Analogamente alla cartella \Progetti, sono presenti altre due cartelle dedicate agli esempi forniti in dotazione a SAV:

\Es-Apprendi, contenente esempi di apprendimento

\Es-Progetti, contenente esempi di progettazione.

La cartella \Aedes2012\Servizio è normalmente utilizzata soltanto durante la sessione di lavoro con SAV; l'assenza di questa cartella non interferisce con il normale funzionamento del programma: SAV infatti provvede da solo alla sua creazione quando necessario.

Nel seguito, per 'archivio' si intende un Progetto salvato nel formato SAV nel percorso:

\Aedes2012\Sav\Progetti

Il nome dell'archivio (o equivalentemente: del Progetto) è riportato nella barra del titolo, in alto sullo schermo, accanto al nome del programma.

Le operazioni di archiviazione (o salvataggio), di apertura di archivi esistenti e di creazione di nuovi archivi, vengono effettuate da SAV attraverso i comandi del menu File della finestra Progetto.

Dai comandi del menu File è possibile, inoltre, elaborare la relazione di calcolo.

3.1. Dati PROGETTO

La finestra **Dati Progetto** consente la definizione della tipologia della struttura. Può trattarsi di un singolo arco, oppure di una Volta, necessariamente a botte, composta da uno (=uguale al caso del singolo arco) o più archi (il numero di archi ideali è specificato nella finestra Dati Struttura). E' possibile inserire un commento identificativo del progetto.

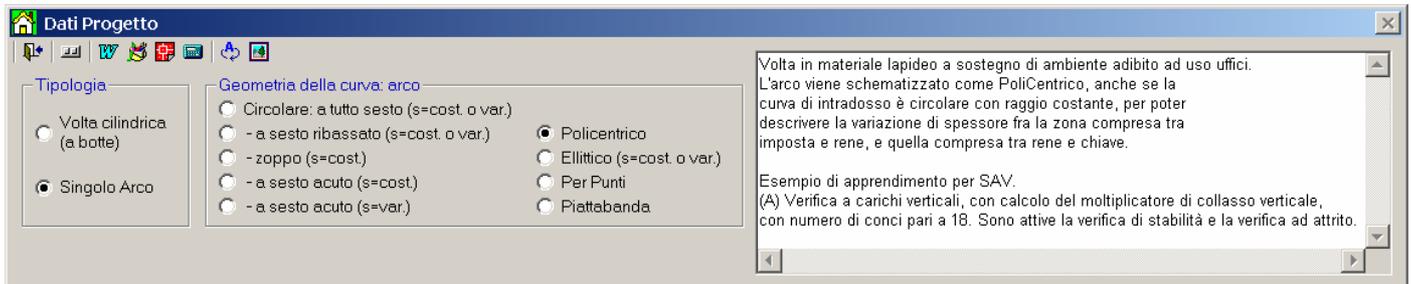


Fig. 3.1.1. Dati Progetto

La scelta di una diversa tipologia, generalmente fatta a inizio lavoro su un nuovo progetto, predisponde la struttura secondo impostazioni di default previste da SAV. L'Utente modificherà successivamente i dati in modo da descrivere il proprio caso.

3.2. BARRA DEGLI STRUMENTI DELLA FINESTRA PROGETTO



Esci = il pulsante (equivalente al corrispondente comando del menu File) costituisce l'unica via per la chiusura della sessione corrente di SAV (i classici pulsanti di chiusura sono disattivati sia nella finestra principale sia nella finestra Progetto).

Barre degli Strumenti = apre la finestra di dialogo per la gestione delle impostazioni relative alle barre degli strumenti della finestra principale.

Elaborazione files: **rtf**, **bmp**, **dxg** = equivalgono ai corrispondenti comandi del menu File.

Calcolatrice = apre la calcolatrice di Windows.

Generazione Automatica Immagini = genera automaticamente i principali disegni dei dati e dei risultati statici e sismici. Qualunque siano i parametri di disegno correnti, reimposta i parametri di default, ritenuti ottimali per eseguire i disegni automatici. Dopo l'esecuzione del comando, vengono ripristinati i parametri precedenti la generazione automatica.

Finestra Galleria = apre la finestra Galleria.

3.3. Menu FILE

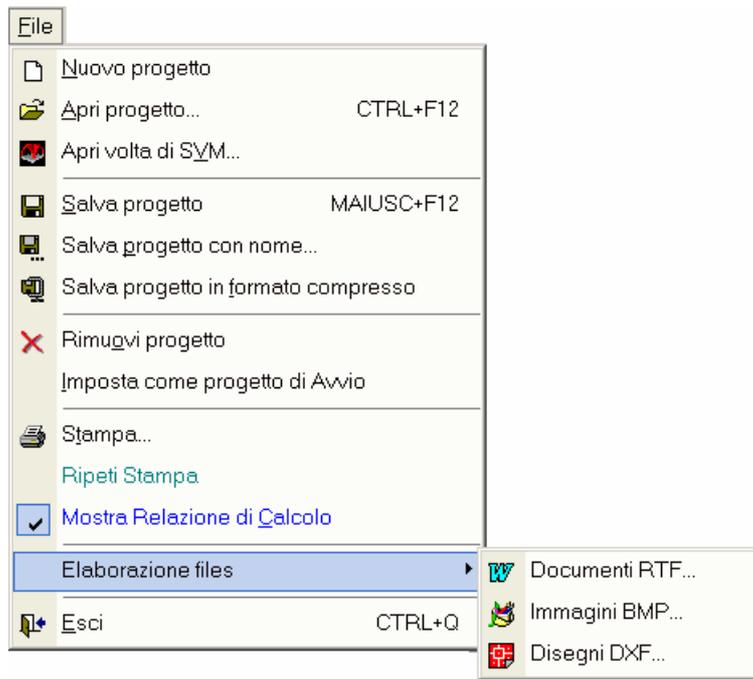


Fig. 3.3.1. Finestra Progetto: menu File

Le operazioni di archiviazione (o salvataggio), di apertura di archivi esistenti e di creazione di nuovi Progetti, vengono effettuate da SAV attraverso i comandi del Menu File.

Dai comandi del Menu File è possibile, inoltre, elaborare e stampare la relazione di calcolo.

Nuovo = reinizializza i dati correnti, impostando la creazione di un nuovo Progetto.

Apri = apre un archivio esistente, localizzato nella cartella determinata dalla selezione effettuata su uno dei due gruppi di archivi possibili: progetti personali dell'Utente, progetti di esempio per l'apprendimento (in dotazione di SAV).

Alle due selezioni competono due percorsi di ubicazione degli archivi distinti; rispettivamente:

\Aedes2012\Sav\Progetti

\Aedes2012\Sav\Es-Apprendi

Per preimpostazione, viene fatto riferimento agli archivi posti in \Aedes2012\Sav\Progetti.

Apri volta di SVM = apre una finestra dove è possibile selezionare nella casella a discesa a sinistra una qualsiasi volta già archiviata in SVM, e nella casella a discesa a destra uno degli archi generati per SAV a partire da tale volta. Un esempio è riportato in figura seguente, dove per la struttura voltata di SVM: "Volta di Avvio" si è selezionato il file "Arco Diagonale 1". La grafica corrispondente (vd. fig. 3.3.2) illustra la volta ed evidenzia l'arco selezionato.

Un progetto di SVM è un arco diagonale, un arco perimetrale o una lunetta generati dall'esportazione di SVM verso SAV. Laddove SVM non esegua verifiche particolari, quali consolidamento con FRP o analisi sismiche, è quindi possibile procedere con SAV agendo sugli archi componenti (archi da lunette, archi diagonali, archi perimetrali). Per maggiori informazioni si rimanda alla documentazione di SVM.

Salva progetto = salva il Progetto corrente, di nome 'NomeProgetto', con nome del file: NomeProgetto.sav, posto nella cartella del gruppo di archivi selezionato: per default, \Aedes2012\Sav\Progetti.

Il formato sav del file dati prevede l'archiviazione di tutti i dati collegati al Progetto.

Pur essendo il formato sav in caratteri ASCII e quindi editabile, non si dovrebbero modificare i dati direttamente con un editor ASCII: le sequenze di formattazione (spazi e ritorni a capo interposti fra i valori dei dati) potrebbero essere alterate con successiva impossibilità di corretta riapertura in SAV.

Il comando Salva del menu File è presente anche in altre finestre di SAV in modo da consentire il salvataggio dei dati correnti direttamente, senza l'obbligo di attivare la finestra Progetto.

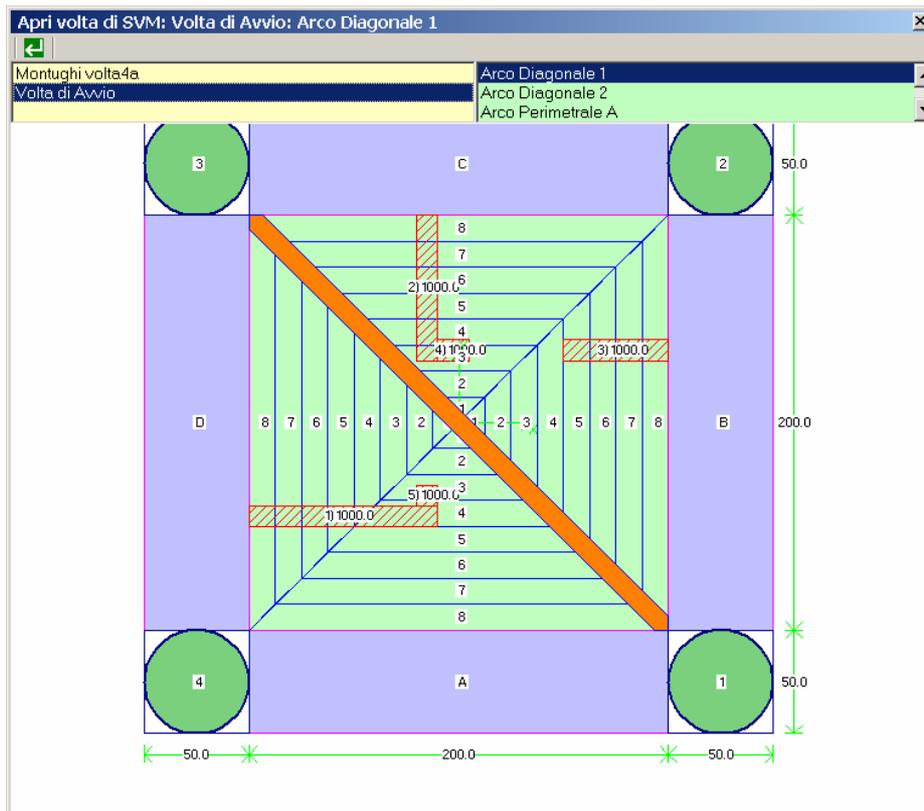


Fig. 3.3.2. Finestra Progetto: apertura di file prodotto da SVM

Salva progetto con nome = richiede il nome del Progetto prima di archiviarlo. Consente di salvare il Progetto corrente con un altro nome, creando quindi un altro archivio. Effettuato il salvataggio con il nome specificato, questo è il nome che viene assunto come corrente.

Salva progetto in formato compresso = gli archivi di SAV possono essere convenientemente compattati, utilizzando il comando di **salvataggio in formato compresso**, disponibile nel menu File della finestra Progetto. Il comando crea un file avente estensione **.z05**.

Salvando il file in formato **.z05**, si ottiene un unico file contenente tutti i dati e i risultati che può ad esempio essere agevolmente utilizzato per spostare altrove l'archivio, o per inoltrare richieste di Assistenza alla AEDES.

 **Suggerimento** In alternativa alla compressione di SAV si può ovviamente utilizzare un programma esterno (come WinZip, o IZArc). In tal caso, si dovranno comprimere insieme sia i files:

\Aedes2012\Sav\Progetti\NomeProgetto.*

(fra i quali vi sarà sicuramente **.sav** (file dati), ed eventuali altri files a corredo),

sia la sottocartella, avente il nome del file di progetto, contenente altri files di dati e i risultati:

\Aedes2012\Sav\Progetti\NomeProgetto ■

I files compressi possono essere successivamente riaperti come qualunque file **.sav**. E' anche possibile rimuovere il progetto dal computer, con il comando **Rimuovi progetto**; ovviamente, occorre usare con attenzione tale comando, per esempio dopo aver salvato, in formato compresso, la struttura della quale non si vuole perdere i dati (il file compresso **.z05** non viene cancellato dall'operazione di rimozione).

Imposta come progetto di Avvio = il progetto corrente verrà aperto automaticamente all'avvio delle successive sessioni di lavoro con SAV. Scegliendo 'Nuovo progetto', e subito dopo 'Imposta come progetto di Avvio', viene ripristinata la configurazione di progetto anonimo all'atto dell'apertura di SAV.

Stampa = Apre la finestra di dialogo dei Parametri di Stampa, dove si selezionano i dati e/o i risultati che saranno utilizzati per comporre la relazione di calcolo attraverso la stampa su file rtf:



Fig. 3.3.3. Stampa su file rtf

La finestra di dialogo è composta da tre schede (Introduzioni, Dati, Analisi) che consentono la selezione delle voci desiderate per comporre la relazione. Alcune opzioni possono presentarsi in luminosità ridotta se le corrispondenti analisi non sono state eseguite.

La conferma con OK chiede il nome del file su cui stampare la Relazione; la successiva conferma di stampa comporta la visualizzazione della Relazione attraverso l'apertura automatica della finestra Relazione di Calcolo solo se è attivo il check corrispondente alla voce di menu **Mostra Relazione di Calcolo**; in ogni momento, la relazione può comunque essere aperta direttamente con il word-processor nel percorso di output del progetto corrente (\Aedes2012\Sav\Output\NomeProgetto).

Elaborazione files = propone l'apertura diretta del word-processor, di Paint o del programma di CAD a cui sono automaticamente associate le estensioni *.rtf*, *.bmp*, *.dxf* (rispettivamente) sul file compatibile presente nella cartella di output del progetto corrente (\Aedes2012\Sav\Output\NomeProgetto). Il comando può non avere effetto qualora l'associazione dell'estensione dei files a Windows non sia stata eseguita, oppure non sia attivabile a causa di protezioni o impostazioni interne del sistema operativo. In tal caso, i files potranno essere comunque gestiti direttamente nella cartella di output del progetto.

In fondo ai comandi del menu File è riportata la **lista dei files recenti**, in numero non superiore a 4 (l'ordine, da 1 a 4, va dal più recente al più vecchio: i più vecchi scalano verso il basso). Viene invocata ad ogni apertura valida di files, ed anche ad ogni salvataggio con nuovo nome.

Il comando di menu: **Esci** (o equivalentemente il pulsante  della barra degli strumenti della finestra Progetto) costituisce l'unica via per la chiusura della sessione corrente di SAV (i classici pulsanti di chiusura sono disattivati sia nella finestra principale sia nella finestra Progetto).

L'uscita attraverso il comando di menu richiede sempre la conferma; l'uscita attraverso il pulsante grafico  è invece immediata, qualora ovviamente non vi siano modifiche in corso che richiedano il salvataggio della struttura corrente.

3.4. Menu MODIFICA



Fig. 3.4.1. Menu Modifica della finestra Progetto

Il menu Modifica della finestra Progetto consente la modifica delle impostazioni dei comandi di Annulla/Ripristina; è possibile specificare il massimo numero di configurazioni recuperabili.

3.5. Menu ESEGUI

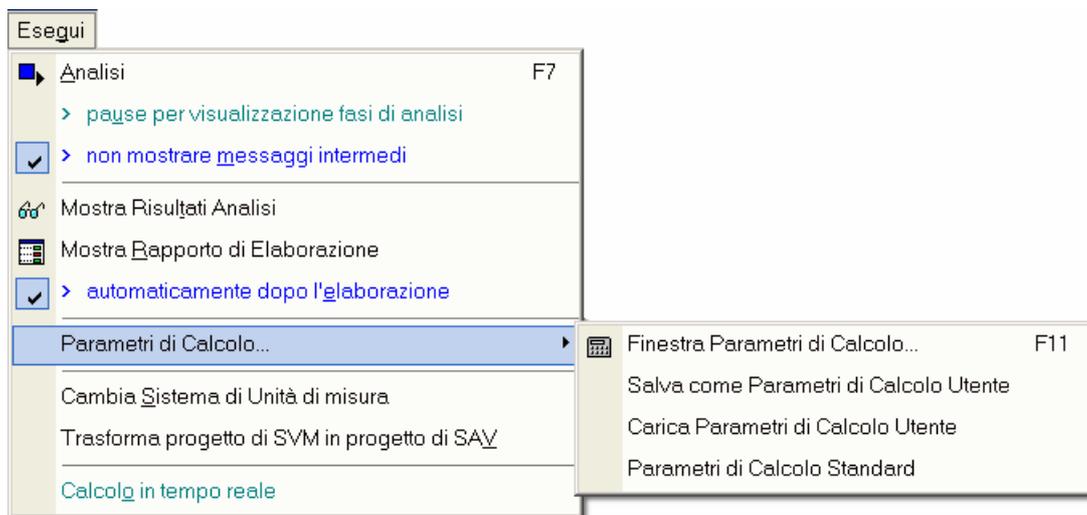


Fig. 3.5.1. Finestra Progetto: menu Esegui

Analisi = l'analisi risolve in una sola istanza tutti gli archi della volta per tutte le CCC statiche e per le CCC sismiche (queste ultime sono la CCC sismica +X e la CCC sismica -X: per entrambe, i carichi verticali agenti sono definiti automaticamente in conformità con la relazione (3.2.16) in §3.2.4 del D.M.14.1.2008), ed esegue eventualmente il calcolo dei moltiplicatori di collasso (se richiesto nei Parametri di Calcolo) verticale e/o orizzontale.

Il report che viene visualizzato al termine del calcolo riassume sinteticamente i risultati. Esso può in ogni momento essere richiamato dal comando  (**Mostra Rapporto di Elaborazione**) della barra strumenti superiore. La consultazione dei risultati attraverso il Rapporto di Elaborazione è descritta nel p. 6.3 di questo Manuale.

Mostra Risultati Analisi = mostra i risultati in una finestra di testo.

I **Parametri di Calcolo** sono trattati in dettaglio nel paragrafo seguente (p. 3.5.1). I comandi: **Salva come Parametri di Calcolo Utente** e **Carica Parametri di Calcolo Utente** consentono l'impostazione degli stessi parametri di calcolo per progetti distinti: se si desidera che ProgettoB abbia gli stessi parametri di calcolo di ProgettoA (per esempio, per eseguire confronti coerenti sui risultati), è sufficiente procedere in questo modo: mentre ProgettoA è il progetto corrente, salvare i parametri di calcolo come Parametri di Calcolo Utente; aprire ProgettoB e caricare i Parametri di Calcolo Utente.

Parametri di Calcolo Standard riconduce alla configurazione predefinita per il progetto Anonimo.

Il comando **Cambia Sistema di Unità di misura** comporta la necessità di riesecuzione del calcolo, a causa del fatto che tutti i files di output devono essere riprodotti coerentemente con le unità correnti. Il comando è comunque molto utile per acquisire la sensibilità numerica nei confronti delle grandezze del Sistema Internazionale.

Trasforma progetto di SVM in progetto di SAV = esegue la trasformazione irreversibile di un progetto derivato

da SVM in un progetto definitivamente disancorato da SVM. Ciò significa che i pesi specifici dei materiali non saranno più nulli, e potranno essere modificati tutti i dati relativi ai pesi delle strutture di contorno (rinfianchi, pavimentazione, sottofondo). Ricordiamo che i progetti di SVM hanno carichi non modificabili in quanto prodotti dall'analisi statica della volta a crociera interna a SVM (eseguita prima di creare gli archi per SAV).

3.5.1. PARAMETRI DI CALCOLO

I Parametri di Calcolo determinano le modalità di esecuzione dell'analisi, oltre ad alcune impostazioni utilizzate da SAV per la definizione del modello.

Scheda GENERALI

Fig. 3.5.2. Parametri di Calcolo: Generali

> Schematizzazione geometrica

Generazione conci (-1=conci di uguale lunghezza, 0=numero di conci specificato)

Per conci di uguale lunghezza: - lunghezza conci (cm)

Controllo di conci tutti uguali (sì / no)

Per numero di conci specificato: - numero di conci

L'opzione 'numero di conci specificato' è consigliabile in particolare per le configurazioni simmetriche, in modo che la suddivisione dei conci in chiave rispetti l'asse di simmetria.

Piedritti: conci ideali di uguale lunghezza, pari a:

Lunghezza conci piedritto sx (cm), Lunghezza conci piedritto dx (cm)

> **Sistema di Unità di misura:** Sistema Internazionale (sì / no)

> **Tipo di Analisi**

L'**Analisi Statica** viene sempre eseguita. **Moltiplicatore di collasso in direzione verticale** (sì / no) = indica se è richiesta l'elaborazione del moltiplicatore di collasso in direzione verticale

Analisi Sismica (sì / no). Fasi di esecuzione dell'analisi sismica:

(1) analisi della struttura voltata sotto forze orizzontali corrispondenti ad un dato moltiplicatore dei carichi verticali;

(2) determinazione del moltiplicatore di collasso nella direzione orizzontale X (XZ=piano dell'arco), nei due versi +X e -X.

Per la fase (1) viene specificato il moltiplicatore dei carichi verticali (o **Moltiplicatore orizzontale dei carichi**). Se si ha interesse solo allo studio del moltiplicatore di collasso, possono essere ignorati i risultati relativi alla fase (1).

> **Dati Edificio**

Numero piani dell'edificio. Per il coefficiente di partecipazione modale 'gamma' [§C8A.4.2.3] può essere adottato il valore semplificato in base al numero di piani N (cfr. scheda Verifiche): $\gamma = 3N/(2N+1)$.

Altezza complessiva della struttura rispetto alla fondazione [§C8A.4.2.3] H (m):

H viene utilizzata per il calcolo della funzione $\psi(Z) \equiv \psi(Z) = (Z/H)$ che descrive in modo approssimato il primo modo di vibrazione.

Per il periodo proprio T1 dell'intera struttura può essere adottato il valore semplificato secondo §7.3.3.2 (cfr. scheda Verifiche).

Imposta Sinistra della struttura voltata: Quota da fondazioni (m)

In analisi sismica al collasso, l'altezza di imposta viene utilizzata per la determinazione dell'altezza Z, rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal cinematismo ed il resto della struttura.

> **Vita Nominale, Classi d'Uso, Periodo di riferimento [§2.4]**

Vita Nominale V,N (anni)

Classe d'uso (1=I,2=II,3=III,4=IV), da cui segue il Coefficiente d'uso C,U e il periodo di riferimento per l'azione sismica $V,R=V,N \cdot C,U$

Scheda SISMICA

Parametri di Calcolo

Generali | Sismica | Verifiche | Impostazioni

Impostazione dello Spettro di Risposta elastico (componente orizzontale)

D.M. IT 1. F_0, S, TB, TC, TD dipendenti da a_g [§3.2.3.2.1] => $Se(T)$ non lineare con a_g . Se F_0, S, TB, TC, TD per i vari TR coincidono con i valori definiti automaticamente dai criteri del D.M.14.1.2008, si può valutare una capacità in termini di PGA e di TR strettamente conforme al D.M.14.1.2008

EC 8 2. F_0, S, TB, TC, TD indipendenti da a_g (definiti - nel riquadro sottostante - in corrispondenza di SLV) => $Se(T)$ lineare con a_g . E' possibile valutare la capacità in termini di PGA. Questa opzione si applica automaticamente, assumendo - per F_0, S, TB, TC, TD - i valori definiti in corrispondenza di SLV, anche qualora non tutti tali parametri per i vari TR coincidano con i valori definiti automaticamente dai criteri del D.M. 14.1.2008

Determinazione dell'Azione Sismica

1. Pericolosità sismica:
Coordinate geografiche del sito (nel sistema ED50, utilizzato da INGV per il reticolo), in gradi decimali:
Longitudine = 10.851111 Latitudine = 43.681667

Tipo di interpolazione
 Media ponderata: [3], §All.A
 Superficie rigata [§CA]

WGS84 <-> ED50 ...
Tab.2, All.B:
Sito non in Tab.2

Reticolo intorno al sito...
Incolla da Spettri, Cons.Sup.LL.PP.

TR (anni)	a_g (g)	F_0	TC^* (sec)
30	0.044	2.549	0.240
50	0.054	2.560	0.254
72	0.062	2.570	0.260
101	0.072	2.546	0.265
140	0.081	2.542	0.269
201	0.093	2.532	0.275
475	0.126	2.527	0.285
975	0.164	2.472	0.285
2475	0.213	2.505	0.296

2. P.V.R. %: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R per ciascun Stato Limite (Tab. 3.2.I):

Stati limite	P.V.R. (%)
SLE: SLO	81
SLE: SLD	63
SLU: SLV	10
SLU: SLC	5

V_R (anni) = 50
 $T_R = -V_R / \ln(1 - P.V.R)$

3. Valori dei parametri a_g, F_0, TC^* per i periodi di ritorno TR associati a ciascuno Stato Limite, e: S,S, C,C, S, TB, TC, TD: F_v [§3.2.3]:

Stati	Limite	TR (anni)	a_g (g)	F_0	TC^* (sec)	S,S	C,C	S	TB (sec)	TC (sec)	TD (sec)	F_v
SLE	SLO	30	0.044	2.549	0.240	1.200	1.463	1.200	0.117	0.351	1.776	0.722
SLE	SLD	50	0.054	2.560	0.254	1.200	1.447	1.200	0.123	0.368	1.816	0.803
SLU	SLV	475	0.126	2.527	0.285	1.200	1.414	1.200	0.134	0.403	2.104	1.211
SLU	SLC	975	0.164	2.472	0.285	1.200	1.414	1.200	0.134	0.403	2.256	1.351

Categoria di sottosuolo: B h/H (h = quota sito, H =altezza rilievo topografico) ($0 \leq h/H < 1$) = 0.000 (\$§3.2.3.2.1: $ST=1.00$)
 Categoria topografica: T1 Coefficiente di amplificazione topografica S_T = 1.000

S,S da microzonazione sismica: Definizione di PGA:
 acc. su roccia (come a_g)
 $a_g * S$ ($S=S,S * S,T$)

Reimpostazione parametri dipendenti Tab.3. Reimpostazione automatica Tab.3

Legenda Parametri (modifiche: in confronto ai valori definiti dai criteri del DM 14.1.2008):
 indipendenti modificati non modificabili

OK Annulla

Fig. 3.5.3. Parametri di Calcolo: Sismica

> **Impostazione dello Spettro di Risposta elastico** (componente orizzontale) (F_0, S, TB, TC, TD : 1=dependenti da a_g , 2=indipendenti da a_g)

1 = questa opzione caratterizza l'applicazione della **Normativa Tecnica Italiana** (D.M.14.1.2008):

F_0, S, TB, TC, TD dipendenti da a_g [§3.2.3.2.1] => $Se(T)$ non lineare con a_g . Se F_0, S, TB, TC, TD per i vari TR coincidono con i valori definiti automaticamente dai criteri del D.M.14.1.2008, si può valutare una capacità in termini di PGA e di TR strettamente conforme al D.M.14.1.2008

2 = questa opzione può essere utilizzata per applicare l'**EuroCodice 8**, dove il legame fra a_g, TR e i parametri di spettro non è espresso in modo continuo su un reticolo sismico: F_0, S, TB, TC, TD indipendenti da a_g (definiti in corrispondenza di SLV) => $Se(T)$ lineare con a_g . E' possibile valutare la capacità in termini di PGA. Questa opzione si applica automaticamente, assumendo - per F_0, S, TB, TC, TD - i valori definiti in corrispondenza di SLV, anche qualora non tutti tali parametri per i vari TR coincidano con i valori definiti automaticamente dai criteri del D.M. 14.1.2008.

> **Determinazione dell'Azione Sismica**

Individuazione del sito: Longitudine e Latitudine ED50 (gradi sessadecimali)

Tipo di interpolazione

1 = media ponderata §All.A,[3]

2 = superficie rigata §CA

Tab.2, All.B

0 = località non in Tab.2,All.B

1-20 = isola (località posta in Tab.2,All.B), con la seguente convenzione:

1=Arcipelago Toscano, 2=Isole Egadi, 3=Pantelleria, 4=Sardegna, 5=Lampedusa, 6=Linosa, 7=Ponza, 8=Palmarola, 9=Zannone, 10=Ventotene, 11=Santo Stefano, 12=Ustica, 13=Tremiti, 14=Alicudi, 15=Filicudi, 16=Panarea, 17=Stromboli, 18=Lipari, 19=Vulcano, 20=Salina

Valori dei parametri a_g (*g), F_0 , TC^* (sec) per i periodi di ritorno di riferimento:

NTC08, §All.B: Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica

Per il sito di ubicazione della struttura, vengono specificati i valori di a_g , F_0 , TC^* per i periodi di riferimento: (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975, 2475 anni).

P,VR (%) Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR §3.2.1

Per ognuno dei 4 stati limite di riferimento (SLO, SLD, SLV, SLC) le azioni sismiche dipendono dalla corrispondente probabilità P di superamento nel periodo di riferimento VR.

Valori dei parametri a_g , F_0 , TC^* e altri parametri di spettro per i periodi di ritorno TR associati a ciascuno Stato Limite §3.2

Per ognuno dei 4 stati limite di riferimento (SLO, SLD, SLV, SLC) vengono definiti TR (anni), a_g (*g), F_0 , TC^* e S, TB, TC, TD (periodi in sec.)

 **Nota bene** Le verifiche di sicurezza in analisi sismica cinematica condotte in SAV si riferiscono al solo Stato Limite Ultimo SLV. I dati riguardanti gli altri stati limite vengono comunque specificati per completezza dei parametri sismici di progetto. La limitazione delle verifiche al solo SLV è conforme a quanto strettamente richiesto dalla Normativa vigente: §C8A.4.2.3: "(...) Nel caso di meccanismi locali, lo stato limite Stato limite di danno corrisponde all'insorgere di fessurazioni che non interessano l'intera struttura ma solo una sua parte; pertanto nel caso di edifici esistenti in muratura, anche in considerazione delle giustificate esigenze di conservazione, pur essendo auspicabile il soddisfacimento di questo stato limite, la sua verifica non è richiesta." ■

Categoria di sottosuolo (1=A,2=B,3=C,4=D,5=E) §3.2.2

Categoria topografica (1=T1,2=T2,3=T3,4=T4) §3.2.2

Rapporto quota sito / altezza rilievo topografico §3.2.2

Coefficiente di amplificazione topografica ST §3.2.3.2.1

Microzonazione sismica

Definizione di PGA: la PGA (accelerazione orizzontale di picco al suolo), finalizzata a definire l'accelerazione sismica sostenibile dalla costruzione, può essere riferita al suolo rigido (roccia) oppure tenere conto degli effetti locali del sito attraverso il fattore di suolo S:

1 = acc. su roccia (come a,g)

2 = a,g*S (S=S,S*S,T)

Scheda VERIFICHE

Parametri di Calcolo

Generali | Sismica | **Verifiche** | Impostazioni

Verifiche di Sicurezza

Oltre alla Verifica di Stabilità (sempre eseguita), condurre anche le seguenti verifiche:

Verifica ad Attrito (scorrimento tra i conci) (§C8A.4):
 Eseguire la verifica ad Attrito. La verifica è soddisfatta se: $T \leq f \cdot d \cdot N$, con: T = taglio nel giunto (interfaccia tra conci); N = risultante dello sforzo normale ($N_{es} + N_{in}$); f, d = valore di progetto del coefficiente d'attrito

Applicare Gamma, M e FC per il calcolo del coefficiente d'attrito di progetto

Verifica a Compressione della muratura (§C8A.4):
 Eseguire la verifica a Compressione. La verifica è soddisfatta se: $\sigma_{m} \leq f_{md}$. Non eseguire la verifica significa ipotizzare resistenza a compressione infinita, con obbligatorietà di $FC=1.35$ indipendentemente da LC (§C8A.4.2.2)

Nei conci totalmente compressi, la tensione di compressione limite viene calcolata con diagramma rettangolare su 1/3 dello spessore. Questa distribuzione di tensioni è sempre ipotizzata nelle interfacce con sforzo di trazione, con cerniera (per archi non rinforzati) o in presenza di rinforzi

Coeff. parziale di sicurezza sulla resistenza della muratura: gamma, M

Statica [§4.5.6.1]: Sismica [§7.8.1.1]:

Fattore di Confidenza FC:
 FC viene definito nei dati della muratura (finestra Struttura, schede Muratura (1) e (2): il valore è distinto fra Volta e Piedritti).

Gamma, M e FC vengono applicati per il calcolo dei valori di progetto della resistenza a compressione, e (se richiesto) del coefficiente d'attrito

Per Analisi Sismica [§C8A.4.2.3]

Gamma (coeff. part. modale)
 Gamma predef. = $3N / (2N+1) = 1.000$
 Gamma: valore di calcolo =

Primo periodo di vibrazione T1 (sec)
 T1 predef. = $0.050 \cdot H^{0.75} = 0.114$ sec
 T1: valore di calcolo (sec) =

Parametri Vari

Non eseguire analisi e verifica dei piedritti. Selezionando questa opzione, l'elaborazione di calcolo si limiterà alla sola struttura voltata

Per Rinforzi in FRP

Ottimizzare la larghezza dei nastri in base alla trazione richiesta, mantenendo comunque una larghezza minima di cm =

(non selezionando questa opzione, la larghezza dei nastri viene automaticamente posta pari alla profondità dell'Arco Ideale)

Progettare la disposizione dei nastri imponendo al moltiplicatore di collasso (corrispondente alla resistenza a trazione dei rinforzi) le seguenti condizioni:

- per le combinazioni di carico verticali (Analisi Statica): progettazione per i carichi in input (moltiplicatore di collasso in direzione verticale ≤ 1.000)
- per le combinazioni sismiche (Analisi Sismica): progettazione per il moltiplicatore orizzontale specificato in input, pari a: 0.280

Fig. 3.5.4. Parametri di Calcolo: Verifiche

> Verifiche di Sicurezza

Oltre alla Verifica di Stabilità, sempre eseguita, possono essere condotte anche le verifiche ad Attrito (Taglio nei giunti) e a Compressione della muratura.

Utilizzando i valori dei tagli e degli sforzi normali competenti alla configurazione stabile dell'arco, è possibile eseguire la verifica per scorrimento (o **Verifica ad Attrito**) dei giunti. Perché tale tipo di verifica sia soddisfatto, occorre che il taglio T sia inferiore alla forza di attrito ($f \cdot N$), dove per f si assume il coefficiente di attrito della malta interposta fra i mattoni o i conci di pietra, o del concio sul concio nel caso di assenza di interposizione di malta (conci in mutuo contrasto tra loro). Il valore di f è in input nei Dati Struttura. Si ha: $f = \operatorname{tg} \varphi$, dove φ è l'angolo di attrito interno; per le malte si assume in genere: $\varphi = 35^\circ$, da cui: $f = 0.7$. In altri termini, i lati del poligono funicolare dovranno formare un angolo minore di 35° con le normali alle sezioni dell'arco (cioè alle interfacce) se non si vuole avere uno scorrimento fra i conci.

Con un'apposita opzione è possibile scegliere un coefficiente di sicurezza γ (e la verifica diviene: $T \leq f \cdot N / \gamma$), composto da due contributi ($\gamma = \gamma_M \cdot F_C$): il coefficiente parziale di sicurezza sui materiali γ_M (differenziato fra Analisi Statica e Analisi Sismica; uguale per volta e piedritti) e il fattore di confidenza F_C (differenziato tra volta e piedritti: per i due sistemi può essere diverso, infatti, il livello di conoscenza conseguito).

E' possibile ignorare tale coefficiente di sicurezza qualora il valore in input del coefficiente d'attrito sia già riferito ad un valore di progetto, direttamente utilizzabile in sede di verifica.

Verifica a Compressione considerando una resistenza a compressione finita della muratura (§C8A.4).

In una data configurazione di equilibrio stabile, per ogni sezione dell'arco è noto lo sforzo normale, composto - secondo la modellazione adottata in SAV - dai due contributi della biella di estradosso e di quella di intradosso. Lo sforzo normale può essere utilizzato per la stima della tensione di compressione della muratura, da confrontarsi con la resistenza di progetto f_{md} .

La reale distribuzione tensionale nella muratura è incognita, tuttavia è possibile avanzare alcune ipotesi ragionevoli.

In SAV la massima tensione di compressione viene calcolata sull'arco reale attribuendo allo sforzo normale N un diagramma di tensioni lineare (prescindendo dalla resistenza a trazione, la sezione è parzializzata quando l'eccentricità di N è maggiore di $s/6$, s =spessore dell'arco nella sezione di calcolo; il diagramma delle tensioni è trapezoidale se lo sforzo normale è interno al nocciolo d'inerzia, triangolare - quindi con zona reagente minore della sezione - se lo sforzo normale è esterno al nocciolo d'inerzia).

Lo studio della stabilità dell'equilibrio dell'arco non rinforzato può prevedere la formazione di cerniere: in corrispondenza di tali sezioni, la curva delle pressioni è tangente alla superficie dell'arco (esterna o interna) e la tensione di compressione nell'interfaccia tende teoricamente ad infinito. Non vi sarebbe quindi alcuna possibilità di soddisfare la verifica a compressione.

In realtà, è possibile precisare il percorso di verifica con le seguenti considerazioni.

Da [14] si riporta testualmente un'importante osservazione.

Sperimentalmente, si è visto che in una sezione fessurata - sia essa rinforzata e quindi con apertura contrastata, o non-rinforzata e quindi con apertura libera (cerniera) - le tensioni si spalmano su una quota-parte dello spessore s pari a $s/3$ (laddove una cerniera ideale prevederebbe tensioni infinite, concentrate in una linea).

In SAV, in corrispondenza delle sezioni dove è presente trazione, sia nel caso di rinforzo che non, la massima tensione nella muratura viene calcolata adottando lo schema uniforme (rettangolare), distribuendovi lo sforzo normale agente nella biella compressa. Ciò equivale quindi a supporre che lo schiacciamento della muratura nella realtà non sia 'puntuale' ma interessi uno spessore dell'arco, supposto appunto pari a $s/3$.

Nei sistemi voltati rinforzati tale valutazione è applicata, quindi, su tutte le interfacce interessate dal rinforzo e con concio adiacente soggetto a trazione.

Per le interfacce limitrofe, dove la curva delle pressioni, pur allontanandosi dal bordo, resta ad esso molto vicina con tensioni di calcolo assai elevate, è possibile adottare lo stesso schema di schiacciamento. In SAV, una apposita opzione di calcolo:

- Nei conci totalmente compressi, la tensione di compressione limite viene calcolata con diagramma rettangolare su $1/3$ dello spessore. Questa distribuzione di tensioni è sempre ipotizzata nelle interfacce con sforzo di trazione, con cerniera (per archi non rinforzati) o in presenza di rinforzi
-

consente il controllo che la tensione non superi il valore limite ottenuto ripartendola in un diagramma rettangolare di ampiezza $s/3$; tale controllo viene convenzionalmente svolto quando la sezione si parzializza (centro di pressione esterno al nocciolo d'inerzia).

In definitiva, il calcolo della tensione di compressione e la conseguente verifica di sicurezza nei confronti della resistenza di progetto f_{md} è possibile anche nei casi di archi non rinforzati.

L'esecuzione della verifica a compressione rende lecita l'adozione di un fattore di confidenza F_C competente all'effettivo livello di conoscenza conseguito (come da Normativa vigente: cfr. §C8A.4.2.2).

Non eseguire la verifica a compressione equivale ad assumere per l'arco una resistenza a compressione infinita e conseguentemente diviene obbligatoria, secondo le Norme citate, l'applicazione del fattore di confidenza più sfavorevole (competente a LC1: 1.35) indipendentemente dal reale livello di conoscenza. Tale F_C entrerà in gioco nella valutazione della capacità sismica della struttura, secondo le formulazioni dell'analisi cinematica (§C8A.4.2.2).

Coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza della muratura γ_M :

γ_M e F_C vengono applicati per il calcolo dei valori di progetto della resistenza a compressione, e (se richiesto) del coefficiente d'attrito. Conformemente alla Normativa vigente, il valore di γ_M viene differenziato fra Analisi Statica (§4.5.6.1) e Analisi Sismica (§7.8.1.1), ma è unico per tutta la struttura esaminata (Volta ed eventuali Piedritti). I valori consueti sono 2.00 per l'Analisi Sismica, e un valore compreso fra 2.00 e 3.00 per l'Analisi Statica: il valore 3.00 pone la verifica a favore di sicurezza. Il valore di γ_M non è differenziato tra volta e piedritti.

Un altro ambito di SAV in cui il coefficiente γ_M viene considerato è nella **stima della resistenza di progetto di elementi di rinforzo in FRP**: il calcolo della resistenza a trazione per delaminazione (conforme alle Linee Guida

2009 sui compositi) viene svolto utilizzando vari parametri, fra cui la resistenza della muratura e quindi anche γ_M . Nella scheda Rinforzi dei dati Struttura di SAV, tuttavia, viene richiesta direttamente la resistenza di progetto a trazione, differenziata fra Analisi Statica e Analisi Sismica (tale differenziazione dipende proprio dalla possibilità di usare diversi valori di γ_M nei due ambiti statico e sismico): il valore di γ_M entra quindi in input in modo indiretto. Un esempio di tale calcolo viene fornito nel Vol. 3 del Manuale di SAV (Esempi applicativi - Procedure di validazione) (esempio di progettazione P5).

 **Attenzione** Per l'utilizzo dei coefficienti γ_M e F_C si rende opportuno un approfondimento.

- Coefficiente parziale di sicurezza γ_M :

secondo la Normativa vigente (§C8.7.1.5) γ_M deve essere utilizzato nel caso di 'analisi lineare elastica con il fattore q': per tali analisi, i valori di calcolo delle resistenze sono ottenuti dividendo i valori medi per F_C e γ_M . Il coefficiente γ_M non è però utilizzato in caso di analisi non lineare.

Ora: l'analisi rigido-fragile proposta da SAV è un'analisi a rottura, in quanto è volta a determinare la stabilità di un arco con formazione eventuale di cerniere, fino alla formazione di un meccanismo di collasso.

L'analisi con SAV condotta per accertare la stabilità sotto un dato carico verticale o sotto uno specifico moltiplicatore orizzontale, se non prevede la formazione di cerniere può essere 'assimilata' ad una analisi lineare; ma se si considera la valutazione del moltiplicatore di collasso, oppure la stabilità sotto un dato carico assicurata solo grazie alla formazione di cerniere, l'analisi viene inquadrata nel campo non lineare.

Di fatto, con lo studio del meccanismo di collasso SAV determina il minimo moltiplicatore cinematicamente ammissibile. Tale risultato coincide con il massimo moltiplicatore staticamente ammissibile che può essere determinato, in via alternativa, applicando un'analisi statica non lineare (pushover). Quindi, si tratta di una metodologia concettualmente assimilabile ad un'analisi non lineare: il coefficiente γ_M potrebbe quindi essere ignorato.

Tuttavia, nella formulazione della verifica sismica cinematica conseguente all'applicazione del metodo, regolata da §C8A.4.2.3, la determinazione della capacità sismica in termini di PGA prevede l'utilizzo di un fattore di struttura $q=2.0$. Complessivamente si tratta quindi, a tutti gli effetti, di un'analisi con fattore 'q'.

Nell'incertezza, si consiglia l'utilizzo di γ_M .

Se si desidera invece ignorarlo, è sufficiente specificarlo pari a 1.00: in tal modo tale parametro diviene ininfluente.

- Fattore di confidenza F_C :

il fattore di confidenza F_C viene utilizzato per la definizione della resistenza di progetto a partire dai valori medi di riferimento ($f_{md} = f_{mk} / F_C$), e ciò (diversamente da γ_M) indipendentemente dal tipo di analisi effettuata.

Ma F_C svolge anche un altro ruolo nelle verifiche sismiche. La formulazione della verifica sismica cinematica (§C8A.4.2.2) chiama infatti in causa F_C nella definizione dell'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo. Nella formula (C8A.4.4):

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* F_C} = \frac{\alpha_0 g}{e^* F_C}$$

compaiono α_0 , il moltiplicatore di collasso, e F_C .

Nel caso che α_0 derivi direttamente dalla verifica di stabilità dell'equilibrio, F_C non viene mai utilizzato nella determinazione di α_0 stesso e quindi il suo uso nel calcolo di a_0^* è normalmente accettabile.

Qualche perplessità subentra nel caso che il moltiplicatore di collasso sia stato determinato dalla verifica per attrito, per compressione o per trazione nei rinforzi: tali verifiche, infatti, riguardando la resistenza dei materiali, utilizzano già F_C per determinare α_0 e di conseguenza ci troviamo ad una doppia applicazione di F_C in una stessa relazione.

In tale relazione, nel caso di collasso per resistenza, esiste inoltre già un margine di sicurezza su e^* .

Infatti: i collassi che dipendono dalla resistenza (che forniscono un valore significativo solo nel caso che il limite di resistenza sia raggiunto prima del raggiungimento dell'instabilità) non consentono - ovviamente - la definizione di un cinematismo, che non si è ancora attivato al momento del collasso.

Il cinematismo, cioè, resta indeterminato, in quanto la crisi strutturale sopraggiunge per scorrimento fra i blocchi o per schiacciamento della muratura o per eccessiva trazione nei rinforzi, e non per instabilità con fuoriuscita del poligono funicolare dalla sagoma dell'arco (e relativa formazione di "cerniere").

Non essendo calcolabile una "massa partecipante", è comunque possibile assimilarla alla massa totale operando a favore di sicurezza: nella formulazione dell'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo, infatti, la frazione di massa partecipante compare al denominatore e quindi un suo valore maggiore determina una più bassa accelerazione sostenibile. Poiché per definizione $e^* \leq 1$, si può adottare $e^*=1$, ottenendo una stima per difetto di

PGA,CLV (trattandosi dell'accelerazione sostenibile dalla struttura, cioè della sua capacità antisismica, un valore più basso opera ovviamente a favore di sicurezza).

In definitiva, esiste già su e^* un margine di sicurezza.

In base a queste considerazioni, F_C potrebbe essere ignorato, nel calcolo di a_0^* , nel caso che α_0 derivi da una crisi per resistenza.

Considerando tuttavia che nella maggior parte dei casi la crisi avviene effettivamente per stabilità dell'equilibrio, è consigliabile adottare una procedura omogenea che in ogni caso, in assenza di commenti specifici sui contenuti Normativi, rispetti la formulazione (C8A.4.4).

In definitiva, si consiglia sempre l'utilizzo del valore appropriato di F_C , e più precisamente: 1.35 (indipendente da LC) in assenza di svolgimento della verifica a compressione; F_C corrispondente all'effettivo LC, nel caso in cui venga eseguita anche la verifica a compressione della muratura.

Se si desidera invece ignorare F_C , è sufficiente specificarlo pari a 1.00: in tal modo tale parametro diviene ininfluente. ■

> Per Analisi Sismica [§C8A.4.2.3]

Coeff. part. modale Gamma, **Primo periodo** di vibrazione T1 (sec)

> Parametri Vari

Non eseguire l'analisi dei piedritti (sì / no). Selezionando questa opzione, l'elaborazione di calcolo si limiterà alla sola struttura voltata. Se i piedritti sono soggetti a verifica, essi sono considerati sottoposti a carico sia in sommità per le azioni di imposta provenienti dagli archi, sia per forze aggiuntive, specificabili nelle CCE; le forze aggiuntive potrebbero per esempio provenire da archi di campate adiacenti.



Attenzione La volta può essere divisa in più archi ideali, mentre i piedritti sono sempre singoli, uno a sinistra e l'altro a destra.

L'**analisi dei piedritti** non viene eseguita contemporaneamente alla volta su di essi impostata, ma dopo la risoluzione della volta stessa. **La verifica dei piedritti non è eseguita se la volta non è stabile**, in quanto non esiste un campo di azioni ammissibili provenienti dalla volta.

Per i piedritti (elementi strutturali verticali suddivisi in conci) vengono calcolati sforzo normale, taglio e momento direttamente a partire dalle azioni applicate dalla volta, dai pesi propri e dai carichi aggiuntivi sui piedritti stessi. Le verifiche di stabilità (curva delle pressioni interna alla geometria), ad attrito (taglio inferiore al limite di scorrimento) e a compressione vengono svolte in modalità del tutto analoghe alle corrispondenti verifiche sulla volta.

Verifiche in fondazione: le azioni giungono anche in fondazione, per determinare se la fondazione è: interamente compressa, parzialmente compressa o ribaltata. Nei risultati, viene fornita una tensione massima sul terreno che può essere confrontata con la capacità portante. Tale confronto non è automaticamente disponibile in SAV e deve essere condotto dall'Utente: può essere utilizzato l'Approccio 1 previsto dal D.M. 14.1.2008; un esempio di verifica della fondazione è contenuto nel p. 4.2 (Esempio P2) del Vol. 3 del Manuale di SAV (Esempi applicativi - Procedure di validazione). ■

> Per Rinforzi in FRP

Per i Rinforzi in FRP, la larghezza dei nastri può essere ottimizzata, progettandola in base agli sforzi di trazione risultanti dal calcolo, e alle caratteristiche del rinforzo stesso (spessore, resistenza a trazione di progetto). E' inoltre possibile specificare una larghezza minima del nastro. Nel caso che l'ottimizzazione della larghezza del nastro non sia selezionata, la larghezza verrà posta automaticamente pari alla profondità dell'Arco Ideale.

Ottimizzare larghezza dei nastri (sì / no), **Larghezza minima** dei nastri (cm).

Progettare la disposizione dei nastri imponendo al moltiplicatore di collasso (corrispondente alla resistenza a trazione dei rinforzi) le seguenti condizioni:

- per le combinazioni di carico verticali (Analisi Statica): progettazione per i carichi in input (moltiplicatore di collasso in direzione verticale ≤ 1.000);
- per le combinazioni sismiche (Analisi Sismica): progettazione per il moltiplicatore orizzontale specificato in input:

per comprendere il significato di questa opzione, si consideri che per i rinforzi in FRP SAV esegue un calcolo di progetto. Ciò significa che in base ai dati della struttura voltata e delle fibre di rinforzo, il moltiplicatore di collasso a trazione (sia in direzione verticale che orizzontale) viene calcolato disponendo i nastri in modo da ottenere la massima resistenza possibile. Ciò implica che in almeno un concio il nastro occupi tutta la profondità: oltre tale misura non è infatti possibile estenderlo, e quindi un ulteriore incremento di moltiplicatore non potrebbe essere sostenuto.

Se il moltiplicatore di collasso orizzontale complessivo coincide con quello determinato dalla resistenza a trazione, la conseguente verifica sismica cinematica, con calcolo della capacità in termini di PGA e di T_R , viene di conseguenza svolta ipotizzando il posizionamento migliore possibile dei nastri, compatibilmente con i dati geometrici e sulle fibre.

Può darsi che tale intervento innalzi l'Indicatore di Rischio Sismico IRS oltre un valore strettamente richiesto (p.es. si può richiedere che non sia superato $IRS=0.80$ - come in alcuni progetti di ricostruzione post-sisma - oppure $IRS < 1.00$ per conseguire l'adeguamento con l'intervento minimo necessario). Al fine di contenere l'aumento dell'Indicatore, o - in altre parole - per dimensionare un progetto di rinforzo meno oneroso è possibile utilizzare l'opzione che collega il moltiplicatore a collasso a trazione al moltiplicatore orizzontale in input: se tale opzione è attiva, il moltiplicatore di collasso a trazione non supererà il moltiplicatore orizzontale in input e la conseguente verifica in Analisi Sismica Cinematica condurrà a miglioramenti più contenuti. Contemporaneamente, nei confronti dei carichi verticali il progetto del rinforzo in FRP verrà eseguito limitando l'utilizzo delle fibre al carico verticale in input (ciò equivale ad un moltiplicatore di collasso 1.000 in direzione verticale).

Un esempio applicativo di questa tecnica è discusso nel Vol. 3 del Manuale di SAV (esempio di progettazione P5).

Scheda IMPOSTAZIONI

Parametri di Calcolo

Generali | Sismica | Verifiche | **Impostazioni**

Discretizzazione curve
 Passo angolare di poligonalizzazione (gradi sessagesimali) (°) per:
 Archi di Cerchio = Archi di Ellisse =

Tolleranze numeriche
 Per operazioni su matrici (standard: 1E-08) =
 R.N.E. = vettore dei residui non equilibrati; F = vettore dei termini noti, o: forze applicate. Controllo di convergenza della procedura: $\|R.N.E.\| / \|F\| \leq$ (tolleranza standard: 1E-05 = 0.00001)

Precisione Forze
 Valori minimi da considerare per la definizione dei carichi nei conci:
 Forze (kN) = Momenti (kN m) =

Fig. 3.5.5. Parametri di Calcolo: Impostazioni

Nella scheda Impostazioni alcuni parametri numerici determinano la precisione dell'esecuzione dell'analisi e quindi dei risultati. I valori impostati per default e consigliati sono quelli che sperimentalmente hanno dimostrato una buona rispondenza. Normalmente le tolleranze numeriche si modificano solo in casi particolari in cui il procedimento di calcolo mostri problemi di convergenza.

> Discretizzazione curve

Passo angolare di poligonalizzazione (gradi sessagesimali) (°) per: Archi di Cerchio, Archi di Ellisse

> Tolleranze numeriche

Tolleranza per operazioni su matrici = valore standard di riferimento: $1E-08 = 10^{-8} = 0.00000001$

Tolleranza $\|R.N.E.\| / \|F\|$: R.N.E. = vettore dei residui non equilibrati; F = vettore dei termini noti, o: forze applicate. Il simbolo $\|$ indica la norma del vettore. Il controllo di convergenza della procedura è il seguente:

$\|R.N.E.\| / \|F\| \leq$ tolleranza, il cui valore standard di riferimento è:

$1E-05 = 10^{-5} = 0.00001$.

> Precisione Forze

Valori minimi da considerare per la definizione dei carichi nei conci:

Minima forza da considerare (kN - kgf), Minimo momento da considerare (kN m - kgf m)

3.6. Menu OPZIONI

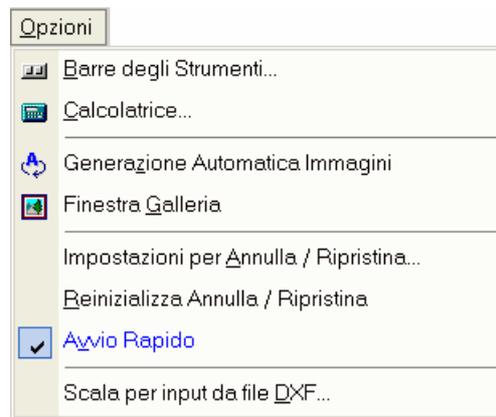


Fig. 3.6.1. Finestra Progetto: menu Opzioni

Barre degli Strumenti = apre la finestra di dialogo riportata in fig. 3.5.2, dove è possibile modificare l'assetto delle barre degli strumenti, visualizzando o meno quelle opzionali e scegliendo alcune modalità di rappresentazione dei pulsanti. Per alcune barre, la scelta è preimpostata, in quanto contengono i principali comandi di SAV e quindi per predefinizione sono considerate sempre presenti.



Fig. 3.6.2. Personalizzazione delle Barre degli Strumenti

Calcolatrice = apre la calcolatrice di Windows.

Generazione Automatica Immagini = genera automaticamente i principali disegni dei dati e dei risultati statici e sismici. Qualunque siano i parametri di disegno correnti, reimposta i parametri di default, ritenuti ottimali per eseguire i disegni automatici. Dopo l'esecuzione del comando, vengono ripristinati i parametri precedenti la generazione automatica.

Finestra Galleria = apre la finestra Galleria, le cui funzionalità sono descritte nel p. 3.6.1.

Impostazioni per Annulla/Ripristina = consente di specificare il massimo numero di configurazioni recuperabili attraverso i comandi di Annulla / Ripristina. Questi comandi generano files temporanei durante la fase di modifica dei dati del progetto.

Pertanto, la specifica di questa limitazione può consentire un uso più limitato dello spazio disponibile su disco. I valori ammessi sono: -1 per l'uso senza limitazioni; oppure un numero ≥ 1 per indicare il massimo numero.

Avvio rapido = imposta o rimuove l'Avvio rapido all'inizio della sessione successiva. In caso di Avvio rapido, viene saltata la fase di visualizzazione estesa del logo e dei messaggi iniziali di avvio sessione.

Scala per input da file DXF = apre una finestra di dialogo per la definizione della scala per l'input da file DXF:

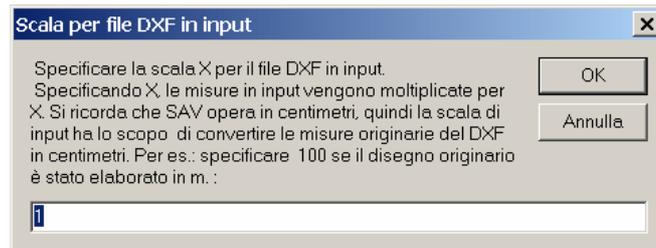


Fig. 3.6.3. Scala per file DXF in input

3.6.1. FINESTRA GALLERIA

La finestra Galleria (fig. 3.6.4) viene aperta dal pulsante grafico  della barra degli strumenti della finestra Edificio, o equivalentemente dall'apposito comando del menu Opzioni della finestra Edificio.

La finestra consente la comoda visualizzazione di tutte le immagini associate al Progetto; esse vengono caricate da i files bitmap (estensione *.bmp*) presenti nella cartella:

`\Aedes2012\Sav\Output\NomeProgetto`

dove NomeProgetto indica il progetto di cui si visualizzano le immagini.

Le immagini possono essere scorse a piacere, attraverso gli opportuni tasti di comando descritti nel seguito, oppure automaticamente, tramite il comando di Sequenza Automatica che anima la finestra, mostrando i disegni uno dopo l'altro secondo l'intervallo di tempo desiderato. Con un solo comando è così possibile visualizzare tutte le rappresentazioni grafiche fino a quel momento salvate per il Progetto corrente.

La finestra Galleria ha in realtà una funzione più ampia rispetto alla semplice visualizzazione delle immagini associate al progetto corrente: in essa infatti possono essere aperte le immagini (precedentemente elaborate) di qualunque progetto, anche distinto dal progetto corrente. Questa opportunità permette ad esempio il confronto diretto fra due strutture distinte, quella attualmente in linea come progetto corrente di SAV, e quella le cui immagini sono mostrate nella finestra Galleria. Da opportune caselle di riepilogo può essere scelto sia il nome del Progetto di cui si vogliono visualizzare le immagini, sia la particolare immagine (fra quelle disponibili) che si vuole effettivamente visualizzare nella Galleria.

Le immagini della finestra Galleria, diversamente dalle finestre Grafiche standard di SAV, sono immagini bitmap e quindi 'fisse': esse non possono essere ridimensionate; anche se la finestra Galleria viene ingrandita, sono sempre mostrate con le loro dimensioni reali. Per visualizzare immagini a scale diverse, magari ingrandite al fine di visualizzare un maggior numero di dettagli nel disegno, occorre ridimensionare adeguatamente le rappresentazioni grafiche nelle finestre standard prima di generare le bitmap.

Quando la bitmap eccede le dimensioni fisiche della finestra Galleria, opportune barre di scorrimento consentono comunque la visualizzazione di ogni parte dell'immagine corrente.

Barra degli strumenti



 **Apri Elenchi Progetti e Immagini** = visualizza le caselle di riepilogo dove sono mostrati in elenco a sinistra i Progetti disponibili, ed in elenco a destra le immagini disponibili per il Progetto selezionato. E' sufficiente fare clic sul nome del progetto e sul nome del file bitmap dell'immagine, per visualizzarla immediatamente. Un esempio è

riportato in fig. 3.6.4. Si comprende quindi come l'accesso ad una qualunque immagine salvata di un qualunque progetto elaborato con SAV, è un'operazione immediata. Si osservi inoltre che nell'elenco delle immagini compaiono tutti i files bmp presenti in: Aedes2012\Sav\Output NomeEdificioSelezionato, quindi anche gli eventuali files elaborati dall'Utente esternamente a SAV (per esempio, possono essere state generate e modificate altre bitmap contenenti commenti o annotazioni).

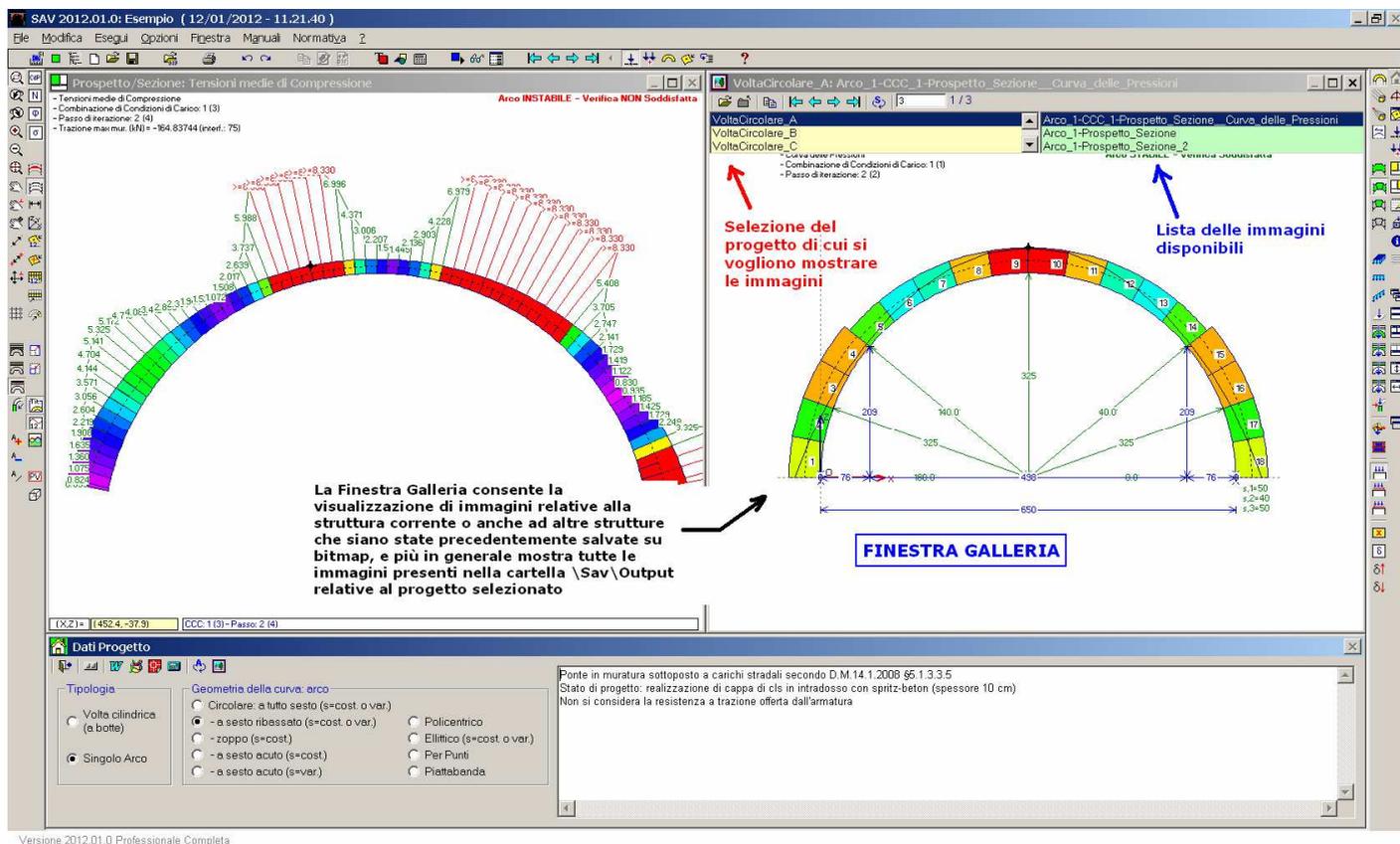


Fig. 3.6.4. Finestra Galleria

Qualora per un dato Progetto nessuna bitmap sia disponibile, nella finestra Galleria viene mostrato il messaggio riportato in fig. 3.6.5:

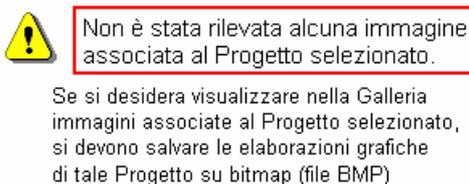


Fig. 3.6.5. Assenza di immagini per l'edificio correntemente selezionato

Chiudi Elenchi = nasconde le caselle di riepilogo contenente i nomi dei Progetti e delle corrispondenti bitmap disponibili. Chiusi gli elenchi, non è possibile variare il progetto di cui sono mostrate le immagini nella Galleria, tuttavia è possibile scorrerne a piacere le immagini disponibili attraverso gli appositi pulsanti, descritti qui di seguito.

Copia negli Appunti = copia l'immagine corrente negli Appunti, ad esempio al fine di incollarla in un documento di Word contenente una relazione.

Prima Immagine, **Immagine Precedente**, **Immagine Successiva**, **Ultima Immagine** = tasti per lo scorrimento delle immagini. E' così possibile visualizzare le diverse immagini disponibili per il progetto correntemente selezionato. Un indicatore sulla destra della barra degli strumenti mostra il numero attuale dell'immagine nell'elenco rilevato; per esempio, in fig. 3.6.4, l'immagine mostrata è la prima su un totale di 3 disponibili: 1/3.

Sequenza automatica = questo comando ha l'effetto di iniziare la visualizzazione automatica delle immagini, mostrate in sequenza una dopo l'altra (dopo l'ultima, la sequenza riprende dalla prima immagine). Il

tempo di visualizzazione di ogni singola immagine (intervallo) è specificato, in secondi, nella casella di testo immediatamente a lato, sulla destra; l'intervallo è modificabile a piacere. Un tempo più lungo consente una comoda visualizzazione di tutta la sequenza, rendendo possibile la consultazione approfondita dell'immagine. Attivando per esempio la sequenza automatica nella configurazione di fig. 3.6.4, le immagini saranno mostrate in successione ad intervalli di 3 secondi.

4. FINESTRA STRUTTURA

La finestra **Dati Struttura** è composta da più schede, in ognuna delle quali si definiscono i dati sulla Geometria e sui Materiali costituenti il Sistema Voltato. Nel caso di un nuovo arco, SAV propone i valori di default che possono essere modificati per descrivere esattamente il caso da analizzare.

I dati geometrici richiesti variano a seconda della tipologia dell'arco; la finestra può presentare alcuni dati sotto forma di campi editabili, per l'inserimento o la modifica dei valori, mentre altri dati sono presentati in luminosità ridotta: si tratta in questo caso di parametri che, pur risultando utili per la descrizione della geometria dell'arco, non sono direttamente in input in quanto vengono ricavati da altri parametri.

I dati della struttura voltata sono organizzati in **sette gruppi (Volta, Arco, Muri/Piedritti, Contorno, Muratura (1), Muratura (2), Rinforzi)**.

4.1. Scheda VOLTA

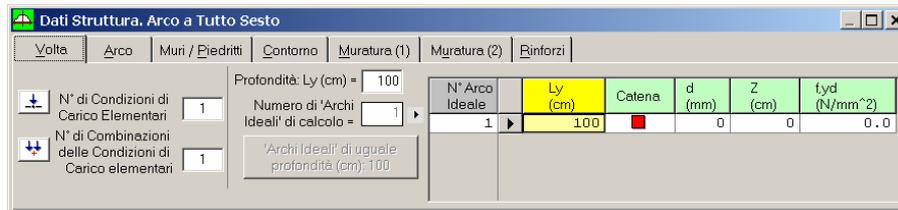


Fig. 4.1.1. Finestra Struttura: scheda Volta

N° di Condizioni di Carico Elementari (CCE), N° di Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari (CCC) = CCE e CCC vengono descritte nel p. 5 dedicato alla gestione dei carichi;

Profondità: Ly = indica la profondità della Volta (dimensione in pianta in direzione Y). La somma delle profondità Ly dei singoli Archi Ideali costituenti la Volta coincide necessariamente con la profondità della Volta. Nel caso di Arco Singolo, ovviamente, la profondità della Volta coincide con la profondità del Singolo Arco, tranne il caso di archi definiti per punti o policentrici, dove le profondità possono essere variate per ogni singolo concio (arco per punti) o per ogni singolo arco di circonferenza componente (policentrico);

Numero di Archi Ideali di calcolo = indica il numero di archi in cui viene suddivisa la struttura voltata. Tale numero è pari a 1 nel caso di Singolo Arco.

Dati Archi Ideali:

Ly = profondità del singolo Arco Ideale;

Catena = se attivata, indica il contributo statico di una catena (tirante metallico);

d, Z, fyd = dati della catena: diametro, quota assoluta (rispetto allo zero del riferimento XZ) e tensione di snervamento.

Nel caso di catene non aventi sezione circolare (ad es. quadrelli) occorre specificare un diametro 'equivalente' in modo che la sezione metallica resistente sia identica.

Il procedimento numerico scarterà i casi di catene compresse (ritenute in sbandamento per carico di punta, e quindi inefficaci) ed eseguirà la verifica a trazione confrontando l'eventuale tensione di trazione (=sforzo normale diviso l'area del tondino) con la resistenza allo snervamento specificata in input.

4.2. Scheda ARCO



Fig. 4.2.1. Finestra Struttura: scheda Arco (per un arco circolare)

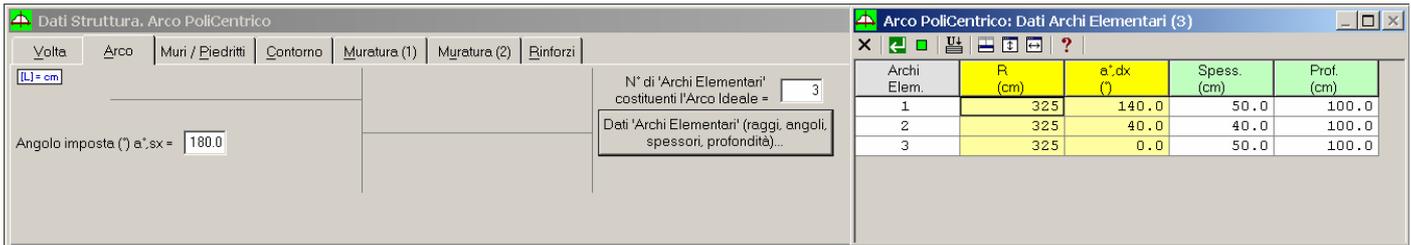


Fig. 4.2.2. Finestra Struttura: scheda Arco (per un arco policentrico)

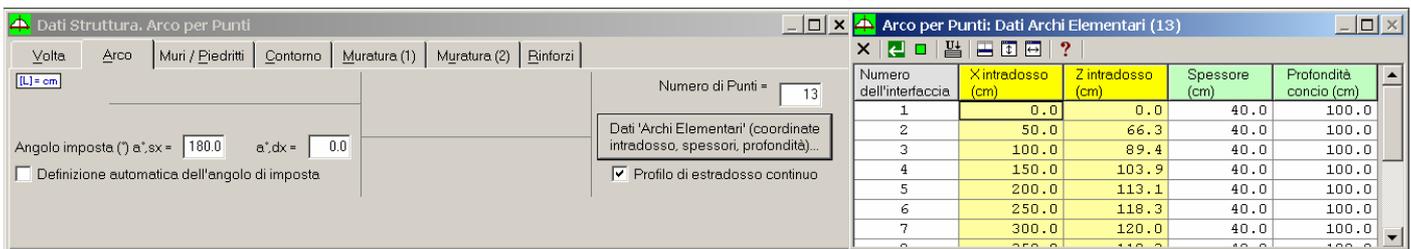


Fig. 4.2.3. Finestra Struttura: scheda Arco (per un arco definito per punti)

La scheda Arco contiene i parametri che descrivono la configurazione geometrica dell'arco. I parametri mostrati sono quelli attinenti la tipologia in esame: per esempio, per un arco circolare a tutto sesto (fig. 4.2.1) non compare il pulsante di comando 'Dati Archi Elementari' (*raggi, angoli, spessori, profondità*) che nel caso dell'arco policentrico (fig. 4.2.2) serve per richiamare la finestra di editazione delle coordinate dei singoli archi elementari. Alcuni dati possono essere rappresentati in luminosità ridotta: si tratta di parametri non in input diretto ma ricavati da altri dati: per esempio, ancora nel caso di un arco circolare a tutto sesto, la corda è direttamente ricavata come doppio della freccia (cioè: diametro = 2 * raggio) e non è un dato in input.

Il significato geometrico dei vari parametri è reso evidente dalla modifica interattiva del disegno dell'arco nelle finestre grafiche. In particolare, si consiglia, durante l'input, di mantenere attivata l'opzione 'Quotatura' dei 'Parametri di Disegno' (scheda Geometria) in modo da evidenziare anche con le misure le variazioni effettuate. Opportuni controlli interni di SAV assicurano la congruenza dei dati, impedendo la definizione di configurazioni geometriche impossibili o inconsistenti; è comunque ovviamente consigliabile evitare l'inserimento di dati contraddittori.

Oltre ai campi di testo, la scheda Arco presenta:

- per gli archi policentrici, il pulsante di comando: 'Dati Archi Elementari (raggi, angoli, spessori, profondità)' (cfr. fig. 4.2.2);
- per gli archi definiti per punti, il pulsante di comando: 'Dati Archi Elementari (coordinate intradosso, spessori, profondità)' (cfr. fig. 4.2.3):

in entrambi i casi, la selezione del pulsante produce l'apertura della finestra Coordinate, funzionale alla descrizione dei singoli archi elementari di cui si compongono queste due tipologie.

Il paragrafo 4.2.1. è dedicato alla finestra Coordinate.

Nei paragrafi da 4.2.2. a 4.2.9. vengono presentate le varie geometrie di arco analizzabili con SAV.

4.2.1. FINESTRA COORDINATE

La finestra Coordinate consente l'editazione delle coordinate dei singoli archi elementari che compongono l'arco policentrico o l'arco definito per punti.

Nel caso di **archi policentrici**, per ognuno degli archi elementari vengono specificati: Raggio R (in cm.); Angolo di imposta destro α° (in $^{\circ}$); Spessore (cm.); Profondità (cm) (fig. 4.2.2; la finestra Coordinate si apre in seguito al clic sul pulsante di comando 'Dati Archi Elementari').

Per costruzione geometrica, l'angolo di imposta destro di un arco elementare costituisce automaticamente l'angolo di imposta sinistra dell'arco successivo. L'angolo di imposta sinistra del primo arco (quello più a sinistra, dal momento che l'arco viene percorso dal concio iniziale più a sinistra, verso il concio finale più a destra) è rappresentato dal corrispondente parametro presente nella scheda Arco.

Nel caso di **archi definiti per punti**, l'arco elementare coincide con un tratto rettilineo fra due vertici (o punti) successivi della curva d'intradosso, percorsa in senso orario (dall'imposta sinistra verso l'imposta destra). Nella scheda Arco viene richiesto il Numero di Punti: si tratta del numero dei vertici costituenti la spezzata che descrive

la curva d'intradosso; questo dato è predisposto automaticamente nel caso di input da file DXF. La finestra Coordinate presenta i seguenti dati:
 Numero dell'interfaccia; X intradosso (cm); Z intradosso (cm); Spessore (cm); Profondità concio (cm).

Le interfacce verranno costruite da SAV individuando la bisettrice dell'angolo formato fra i due tratti consecutivi della spezzata: con questo metodo geometrico, si determinano anche l'interfaccia iniziale (imposta sinistra) e l'interfaccia finale (imposta destra); la conferma con OK dei dati della finestra Coordinate provoca appunto anche il ricalcolo dell'angolo di imposta sinistra e dell'angolo di imposta destra. Tuttavia, questi due angoli possono essere variati dall'Utente.

In fig. 4.2.4, l'arco definito per punti (arco di default) ha le imposte determinate dalla conferma con OK della finestra Coordinate illustrata in fig. 4.2.3. Avendo specificato 180° per l'angolo di imposta sinistra e 0° per l'angolo di imposta destra, si ottengono interfacce alle imposte perfettamente orizzontali.

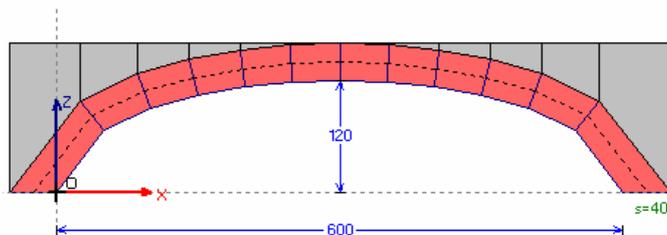


Fig. 4.2.4. Arco per punti

E' possibile un'altra schematizzazione, con interfacce alle imposte determinate automaticamente, qualora sia attivo il check "Definizione automatica dell'angolo di imposta" (fig. 4.2.5); l'effetto del check è in ogni caso visualizzabile graficamente.

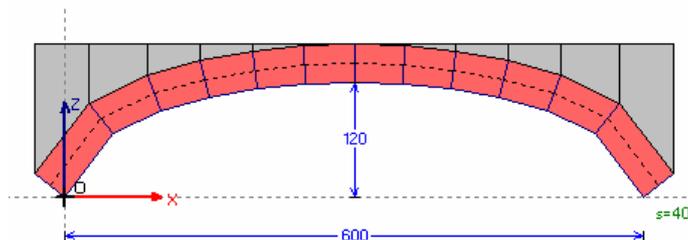


Fig. 4.2.5. Lo stesso arco ma con definizione automatica delle interfacce alle imposte

L'inserimento delle coordinate è numerico; è possibile specificare **coordinate assolute e relative**. Per le coordinate relative, il dato numerico deve essere preceduto dal carattere @, e la coordinata viene automaticamente calcolata relativamente alla corrispondente coordinata precedente. Ad esempio, se il Punto 1 ha coordinate $(X,Y)=(50.0,66.3)$, specificando per il Punto 2 il seguente input:

X = @50

Y = 89.4

il Punto 2 avrà coordinate assolute $(X,Y)=(100.0,89.4)$

Nella finestra Coordinate sono disponibili alcuni comandi in una barra degli strumenti:

 **Conferma** = il pulsante conferma i dati attualmente visualizzati, memorizzandoli nei dati della struttura.

 **Dati confermati** = l'icona non corrisponde a un pulsante attivo: essa ha unicamente lo scopo di evidenziare se i dati attualmente visibili sono stati memorizzati nei dati della struttura, cioè 'confermati' ( icona verde), oppure no ( icona rossa). In caso di Dati confermati, la finestra Coordinate potrà essere chiusa, in quanto i dati inseriti o modificati sono divenuti dati effettivi della struttura.

 **Unifica seguenti** = il comando consente l'unificazione del parametro (della colonna corrente) al parametro corrente. E' utile per un gruppo di dati uguali (ad esempio, la Profondità dei conci).

Il pulsante grafico  determina l'uscita dall'editazione delle Coordinate.

Qualunque siano i valori delle coordinate del vertice iniziale d'intradosso (punto n°1), con la conferma dei dati della

finestra Coordinate, le coordinate di tutti i vertici della curva d'intradosso dell'arco vengono **automaticamente traslate** in modo tale che l'**origine** del sistema di riferimento XY viene a coincidere con il punto n°1. Questa stessa operazione viene eseguita automaticamente nel caso dell'input dell'arco via DXF.

4.2.2. ARCO CIRCOLARE A TUTTO SESTO

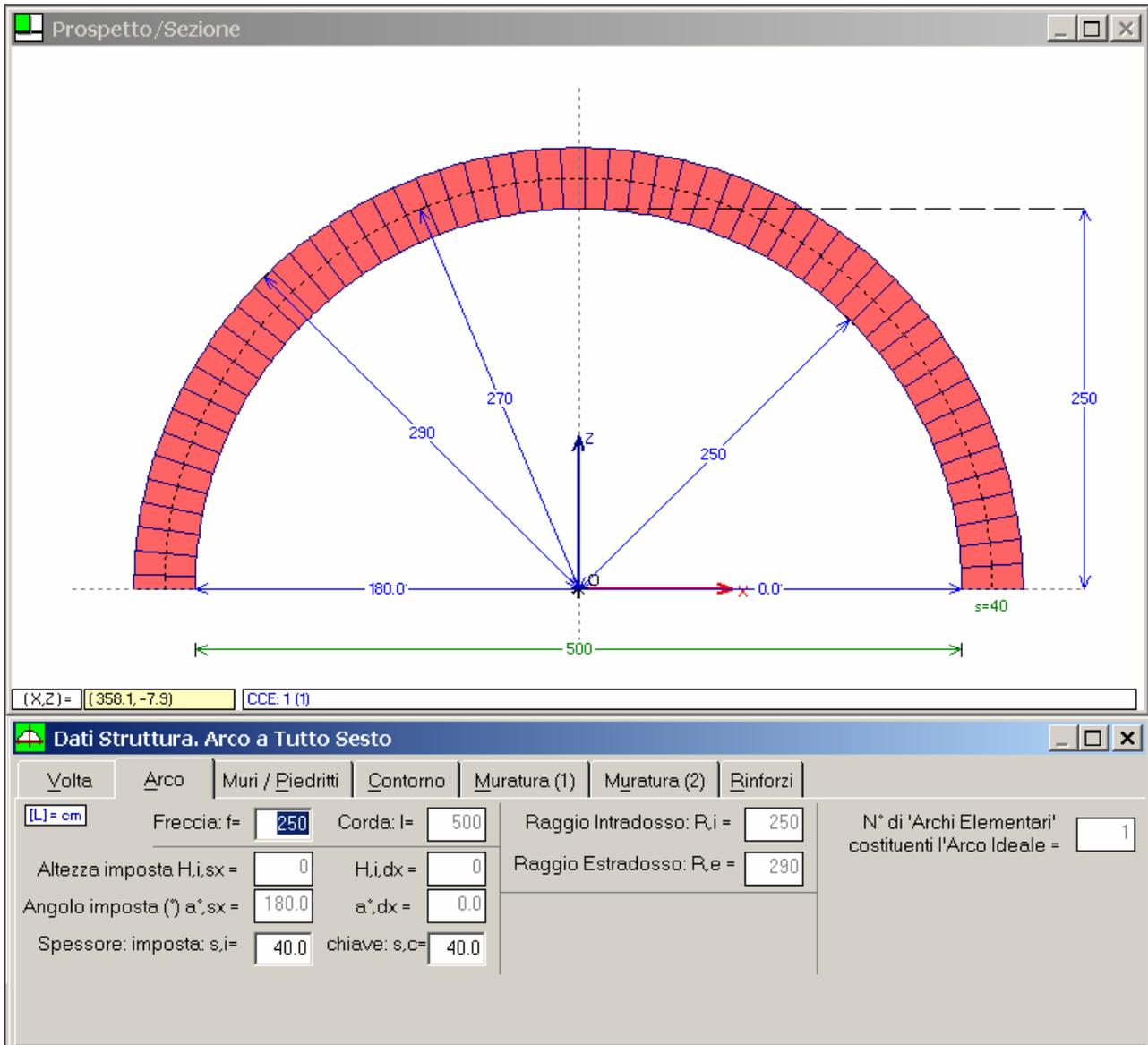


Fig. 4.2.6. Arco Circolare a Tutto Sesto

Lo spessore può essere costante o variabile.

L'elenco dei dati geometrici caratteristici in input è il seguente:

Freccia (coincide con il raggio di intradosso); spessore all'imposta; spessore in chiave. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nel centro della circonferenza di intradosso. Se l'arco ha spessore variabile (spessore d'imposta maggiore dello spessore in chiave), il centro della circonferenza d'estradosso ha Z negativa (sull'asse Z, è localizzato in un punto sottostante l'origine). Se l'arco ha spessore costante, il centro della circonferenza d'estradosso coincide con l'origine, cioè con il centro della circonferenza d'intradosso.

L'arco preimpostato è caratterizzato dai seguenti valori numerici (modificabili a piacere dall'Utente, per descrivere il proprio particolare arco):

freccia (250). La freccia coincide con il raggio di intradosso;

angolo d'imposta sinistro (180°);

angolo di imposta destro (0°);

spessore (40).

Nella figura, i parametri in colore verde rappresentano i dati in input; quelli in blu corrispondono a parametri geometrici ricavati dai dati in input.

4.2.3. ARCO CIRCOLARE A SESTO RIBASSATO

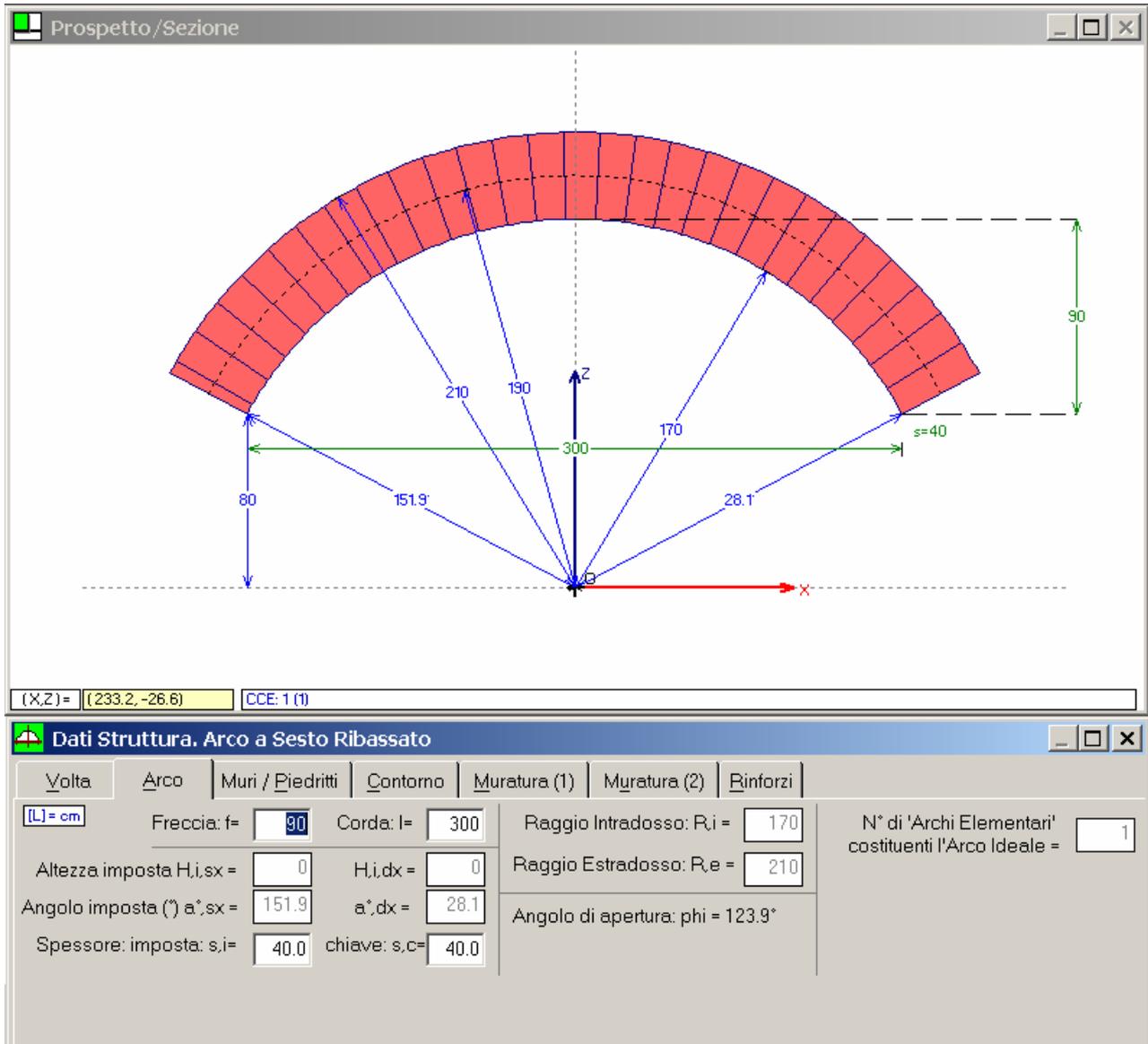


Fig. 4.2.7. Arco Circolare a Sesto Ribassato

Lo spessore può essere costante o variabile.

L'elenco dei dati geometrici caratteristici in input è il seguente:

Freccia; corda; spessore all'imposta; spessore in chiave. Lo spessore all'imposta è la lunghezza del giunto (interfaccia del concio) all'imposta, misurata sul raggio della circonferenza di intradosso. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nel centro della circonferenza di intradosso.

L'arco preimpostato è caratterizzato dai seguenti valori numerici (modificabili a piacere dall'Utente, per descrivere il proprio particolare arco):

freccia (90);

corda (300);

spessore (40).

Nella figura, i parametri in colore verde rappresentano i dati in input; quelli in blu corrispondono a parametri geometrici ricavati dai dati in input.

4.2.4. ARCO CIRCOLARE ZOPPO

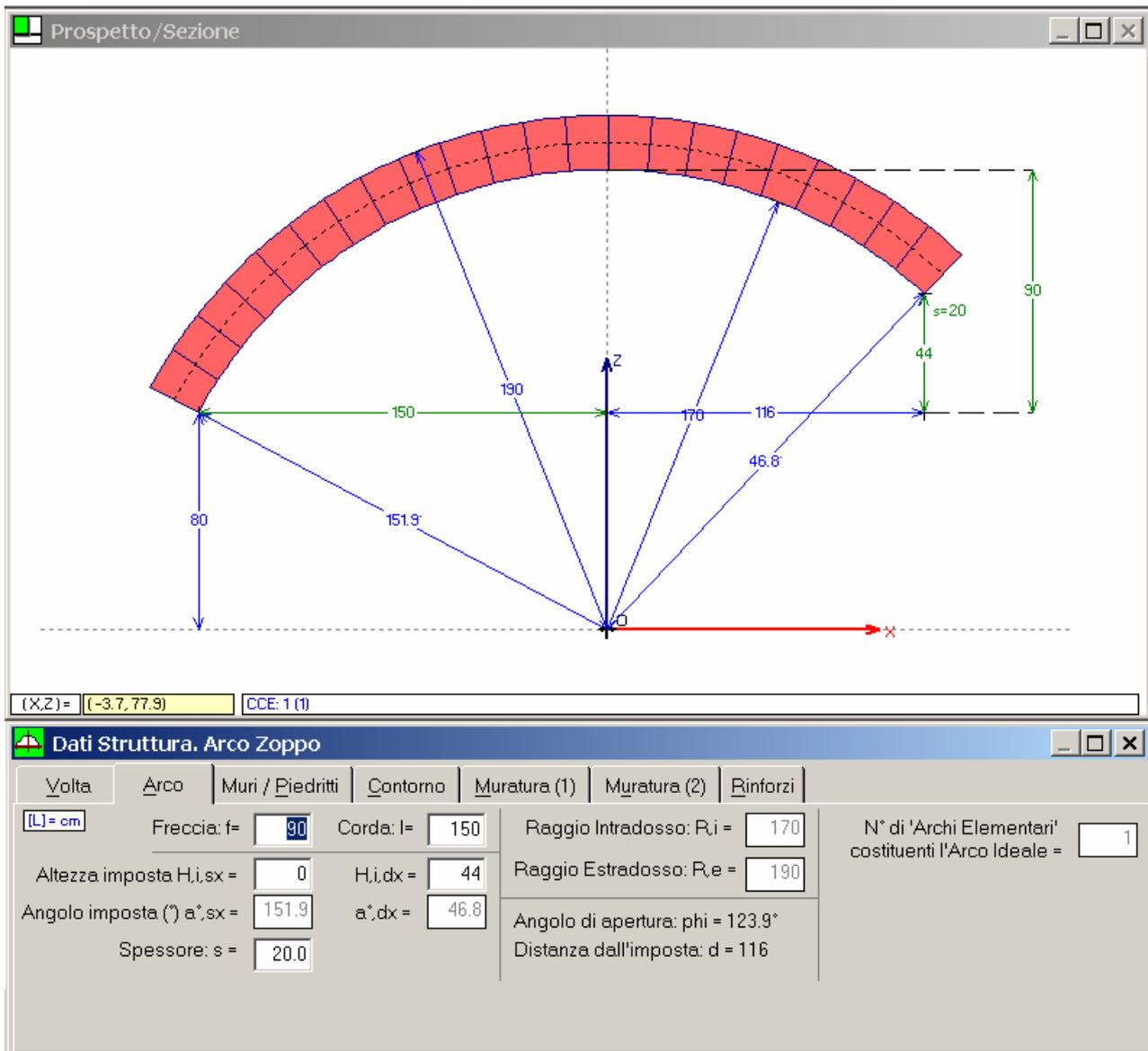


Fig. 4.2.8. Arco Circolare Zoppo

Lo spessore è costante.

L'elenco dei dati geometrici caratteristici in input è il seguente:

Freccia; corda (la corda si riferisce alla proiezione orizzontale dell'intradosso compresa fra il punto d'imposta di intradosso a quota inferiore e la chiave dell'arco); altezza di imposta sinistra; altezza di imposta destra; spessore. L'altezza d'imposta rappresenta la distanza verticale fra i vertici estremi d'intradosso. Solo una delle due altezze d'imposta (la sinistra o la destra) può essere diversa da zero. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nel centro comune delle circonferenze di intradosso e di estradosso.

L'arco preimpostato è caratterizzato dai seguenti valori numerici (modificabili a piacere dall'Utente, per descrivere il proprio particolare arco):

freccia (90);

corda (150). La corda si riferisce alla proiezione orizzontale dell'intradosso compresa fra il punto d'imposta di intradosso a quota inferiore e la chiave dell'arco;

altezza di imposta sinistra (0). L'altezza d'imposta rappresenta la distanza verticale fra i vertici estremi d'intradosso. Solo una delle due altezze d'imposta (la sinistra o la destra) può essere diversa da zero. Nel caso rappresentato in fig. 17 si ha un'altezza d'imposta destra non nulla;

altezza di imposta destra (44);

spessore (20).

Nella figura, i parametri in colore verde rappresentano i dati in input; quelli in blu corrispondono a parametri

geometrici ricavati dai dati in input.

4.2.5. ARCO CIRCOLARE A SESTO ACUTO

L'arco circolare a sesto acuto può avere spessore costante o variabile; i due casi sono trattati distintamente.

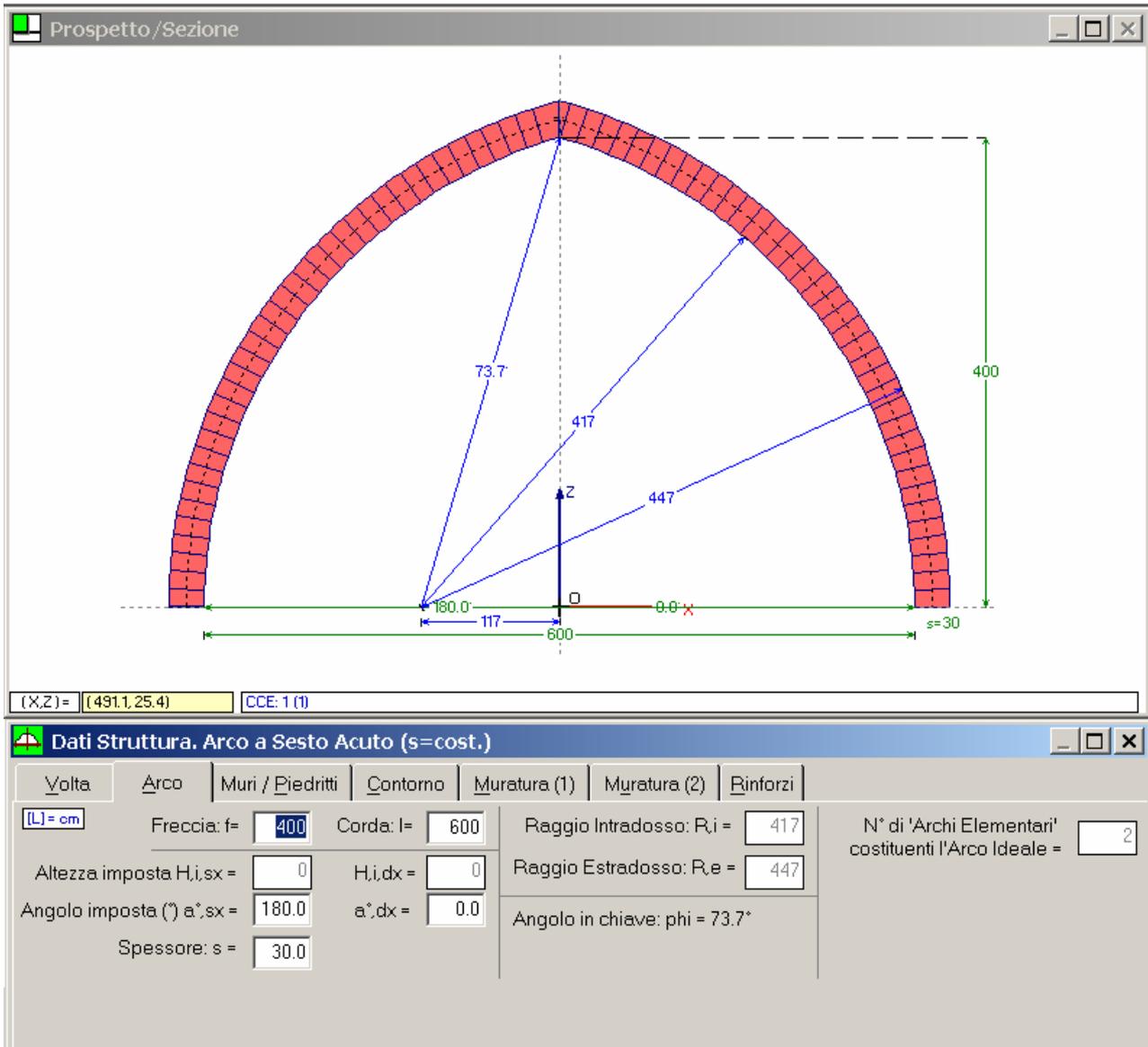


Fig. 4.2.9. Arco Circolare a Sesto Acuto a spessore costante

Per l'arco a sesto acuto a spessore costante, l'elenco dei dati geometrici caratteristici in input è il seguente: Freccia; corda (la corda si riferisce sempre alla distanza fra i vertici estremi di intradosso. Qualora gli angoli alle imposte non siano 180° per la sinistra e 0° per la destra, si dovrà fare riferimento all'estensione degli archi di circonferenza d'intradosso fino all'orizzontale passante per i centri delle due circonferenze corrispondenti ai semiarchi di destra e di sinistra); angolo d'imposta sinistro; angolo d'imposta destro (per archi a sesto acuto simmetrici a sviluppo completo, si avrà: angolo d'imposta sinistro pari a 180° e destro pari a 0°); spessore. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nell'intersezione della retta orizzontale congiungente i centri dei due semiarchi con l'asse verticale dell'arco determinato dall'interfaccia in chiave (asse di simmetria nel caso di semiarchi uguali). Qualunque sia il criterio di suddivisione dell'arco in conci, viene sempre predisposta un'interfaccia lungo l'asse verticale Z.

L'arco preimpostato è caratterizzato dai seguenti valori numerici (modificabili a piacere dall'Utente, per descrivere il proprio particolare arco):

freccia (400);

corda (600). La corda si riferisce sempre alla distanza fra i vertici estremi di intradosso. Qualora gli angoli alle imposte non siano 180° per la sinistra e 0° per la destra, si dovrà fare riferimento (come nel caso della fig. 18) all'estensione degli archi di circonferenza d'intradosso fino all'orizzontale passante per i centri delle due circonferenze corrispondenti ai semiarchi di destra e di sinistra;

angolo d'imposta sinistro (180°); **angolo d'imposta destro** (0°). Questi sono i valori degli angoli di imposta per archi a sesto acuto simmetrici a sviluppo completo;

spessore (30).

Nella figura, i parametri in colore verde rappresentano i dati in input; quelli in blu corrispondono a parametri geometrici ricavati dai dati in input.

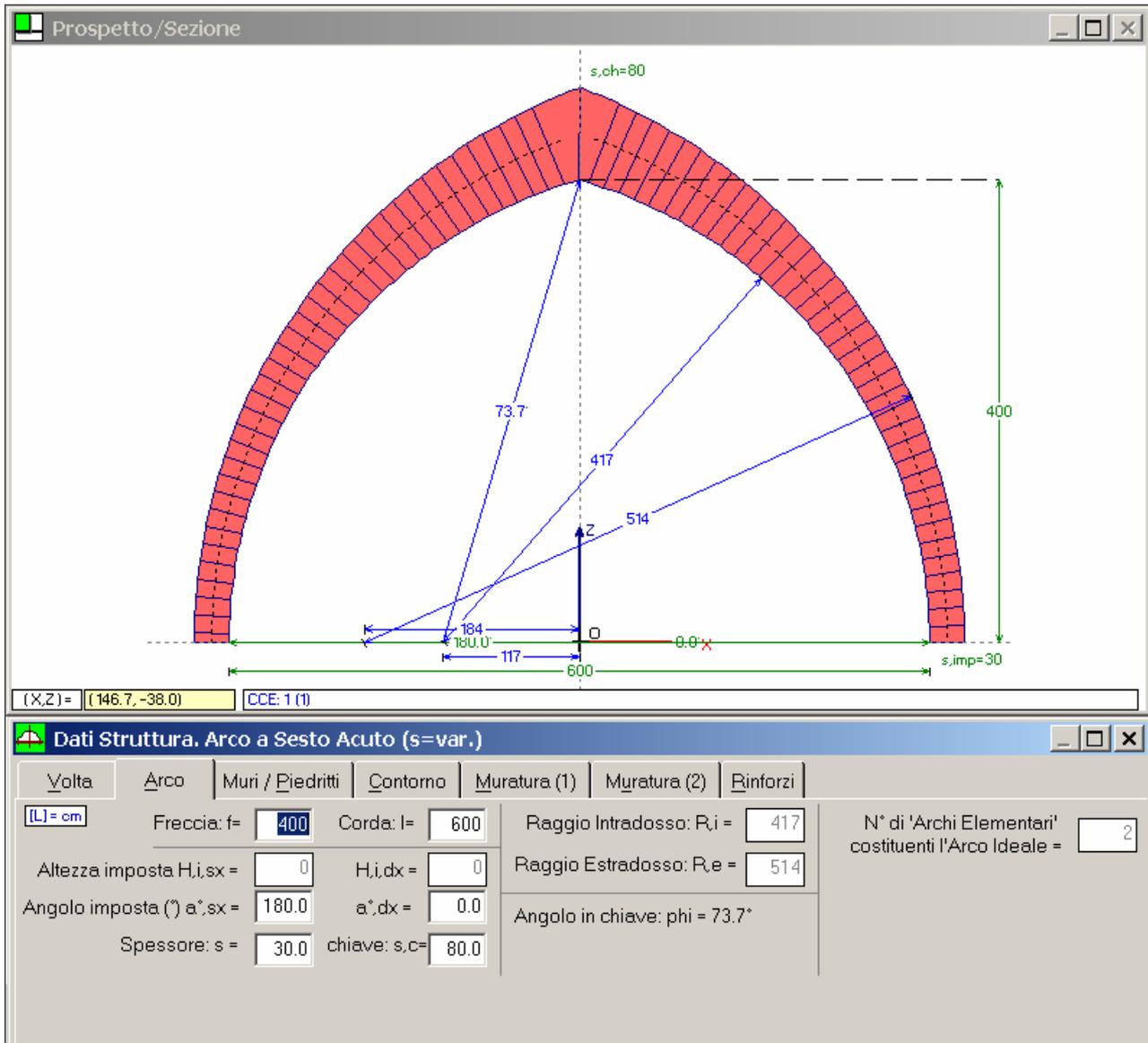


Fig. 4.2.10. Arco Circolare a Sesto Acuto a spessore variabile

Per l'arco a sesto acuto a spessore variabile, l'elenco dei dati geometrici caratteristici in input è il seguente: Parametri analoghi al caso dell'arco a sesto acuto a spessore costante, con i seguenti significati per gli spessori: lo 'spessore in chiave s_c ' è la lunghezza di interfaccia in chiave (misurato in direzione verticale, lungo l'asse Z); lo 'spessore s ' coincide con lo spessore all'imposta orizzontale. Se dunque, con riferimento all'imposta sinistra, l'angolo di imposta non è pari a 180° , si deve idealmente proseguire la circonferenza di intradosso fino all'asse X, e lo spessore rappresenterà la distanza dell'estradosso in direzione orizzontale.

L'arco preimpostato è caratterizzato dai seguenti valori numerici (modificabili a piacere dall'Utente, per descrivere il proprio particolare arco):

freccia (400);

corda (600). La corda si riferisce sempre alla distanza fra i vertici estremi di intradosso. Qualora gli angoli alle

imposte non siano 180° per la sinistra e 0° per la destra, si dovrà fare riferimento (come nel caso della fig. 18) all'estensione degli archi di circonferenza d'intradosso fino all'orizzontale passante per i centri delle due circonferenze corrispondenti ai semiarchi di destra e di sinistra;

angolo d'imposta sinistro (180); **angolo d'imposta destro** (0). Questi sono i valori degli angoli di imposta per archi a sesto acuto simmetrici a sviluppo completo;

spessore (30): è questo lo spessore all'imposta orizzontale. Se dunque, con riferimento all'imposta sinistra, l'angolo di imposta non è pari a 180° , si deve idealmente proseguire la circonferenze di intradosso fino all'asse X, e lo spessore rappresenterà la distanza dell'estradosso in direzione orizzontale;

spessore in chiave (80): è lo spessore dell'interfaccia in chiave, misurato in direzione verticale.

L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nell'intersezione della retta orizzontale congiungente i centri dei due semiarchi con l'asse verticale dell'arco determinato dall'interfaccia in chiave (asse di simmetria nel caso di semiarchi uguali).

Qualunque sia il criterio di suddivisione dell'arco in conci, SAV predispone sempre un'interfaccia lungo l'asse verticale Z.

Nella figura, i parametri in colore verde rappresentano i dati in input; quelli in blu corrispondono a parametri geometrici ricavati dai dati in input.

4.2.6. ARCO POLICENTRICO

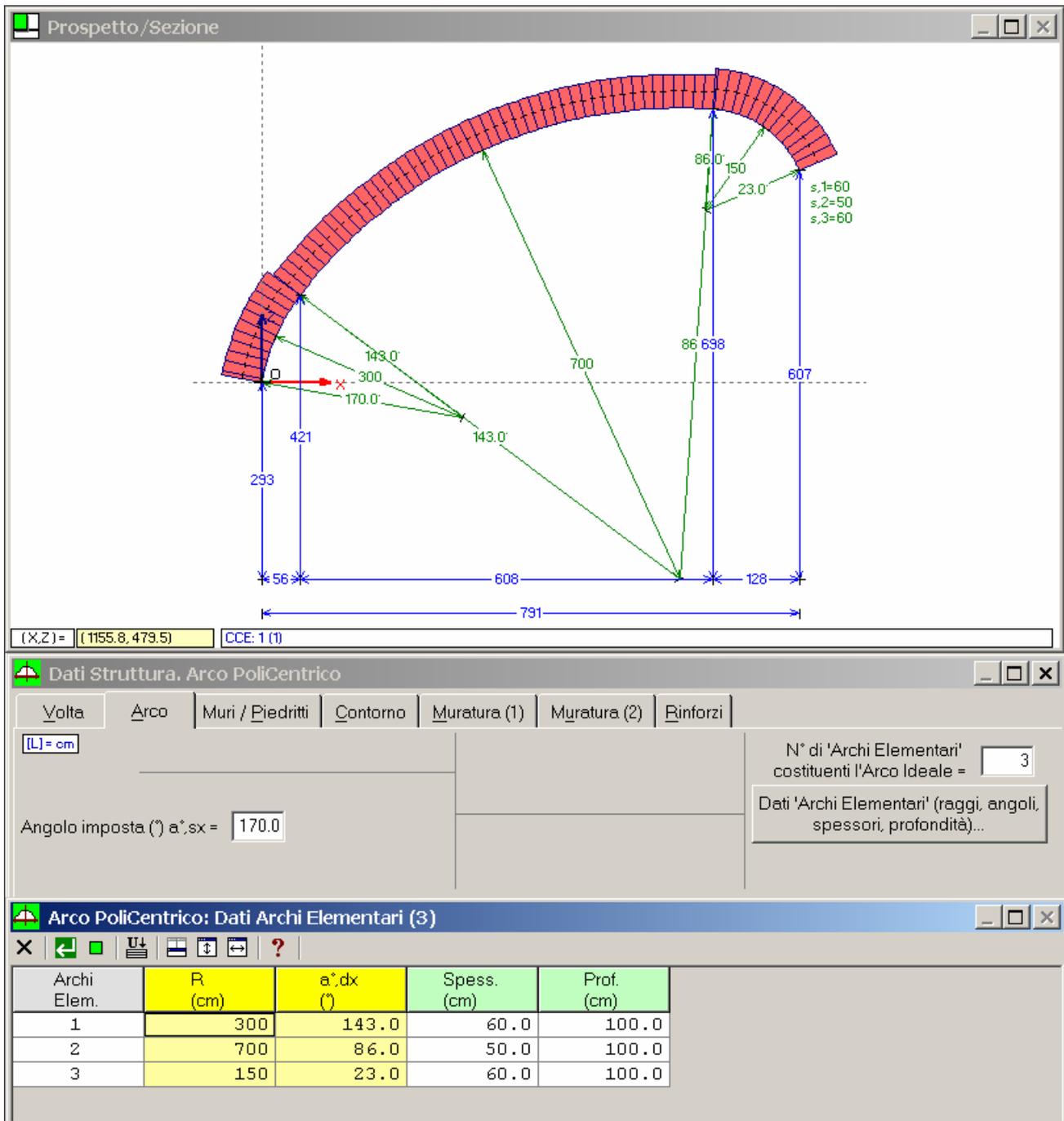


Fig. 4.2.11. Arco PoliCentrico

L'elenco dei dati geometrici caratteristici in input è il seguente:

Angolo di imposta sinistro; numero di Archi Elementari (=archi di circonferenza componenti la policentrica); Raggi, Angoli, Spessori e Profondità degli Archi Elementari. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nel vertice di intradosso iniziale del primo Arco Elementare (il n°1, arco iniziale più a sinistra).

L'arco preimpostato è caratterizzato dai seguenti valori numerici (modificabili a piacere dall'Utente, per descrivere il proprio particolare arco):

angolo di imposta sinistro (170);

numero di archi elementari (3);

Raggi, Angoli e Spessori degli archi elementari: questi parametri sono definiti nella finestra Coordinate, riportata in fig. 4.2.11.

Nella figura, i parametri in colore verde rappresentano i dati in input; quelli in blu corrispondono a parametri

geometrici ricavati dai dati in input.

Gli archi policentrici possono essere utilizzati anche nel caso di archi circolari a tutto sesto, in modo da descrivere discontinuità di spessore; un caso di questo tipo è il seguente:

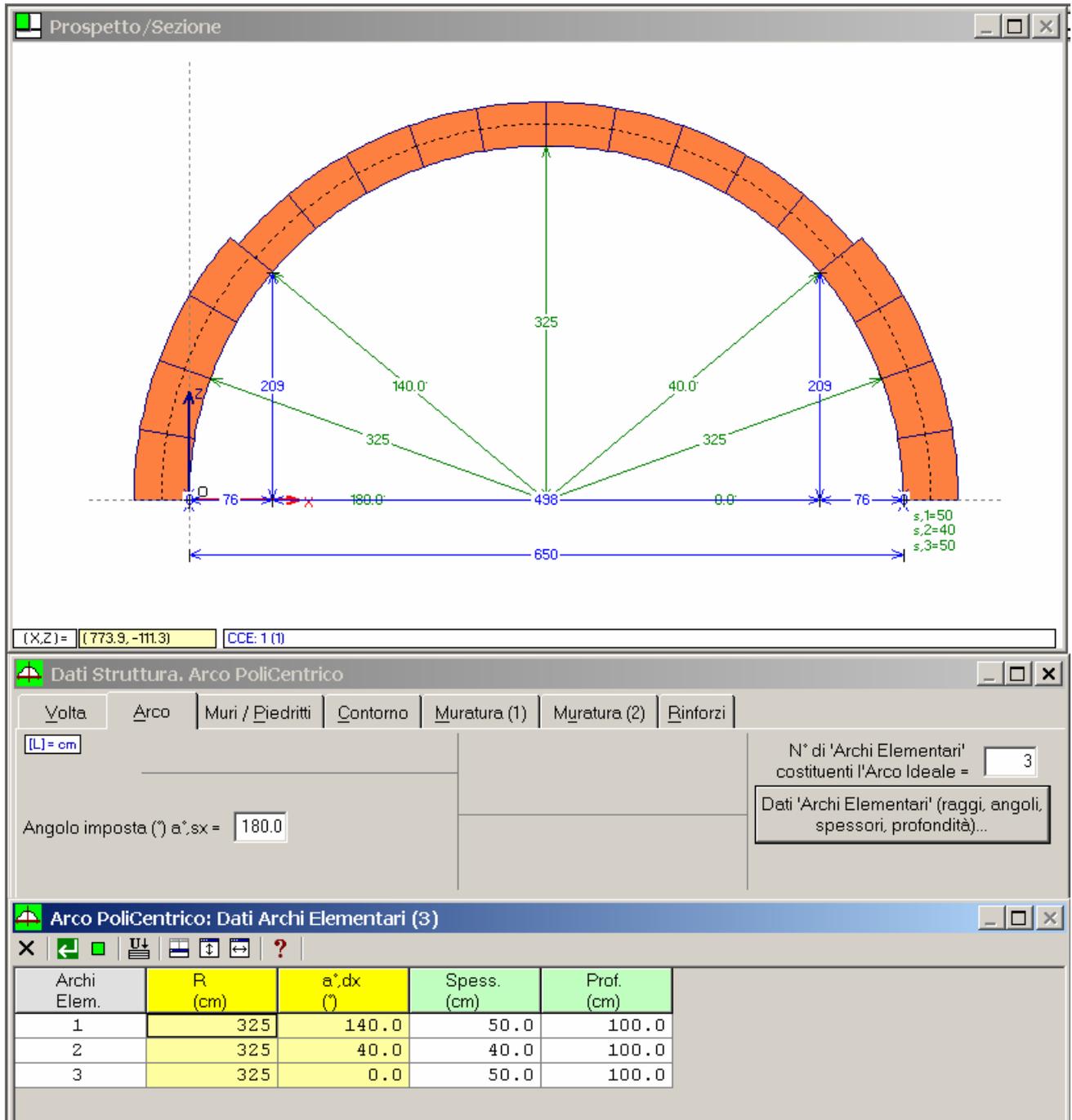


Fig. 4.2.12. Arco circolare con discontinuità di spessore (modellato come arco PoliCentrico)

4.2.7. ARCO ELLITTICO

L'arco ellittico può avere spessore costante o variabile; nella fig. 4.2.13 è rappresentato un caso di arco a spessore variabile.

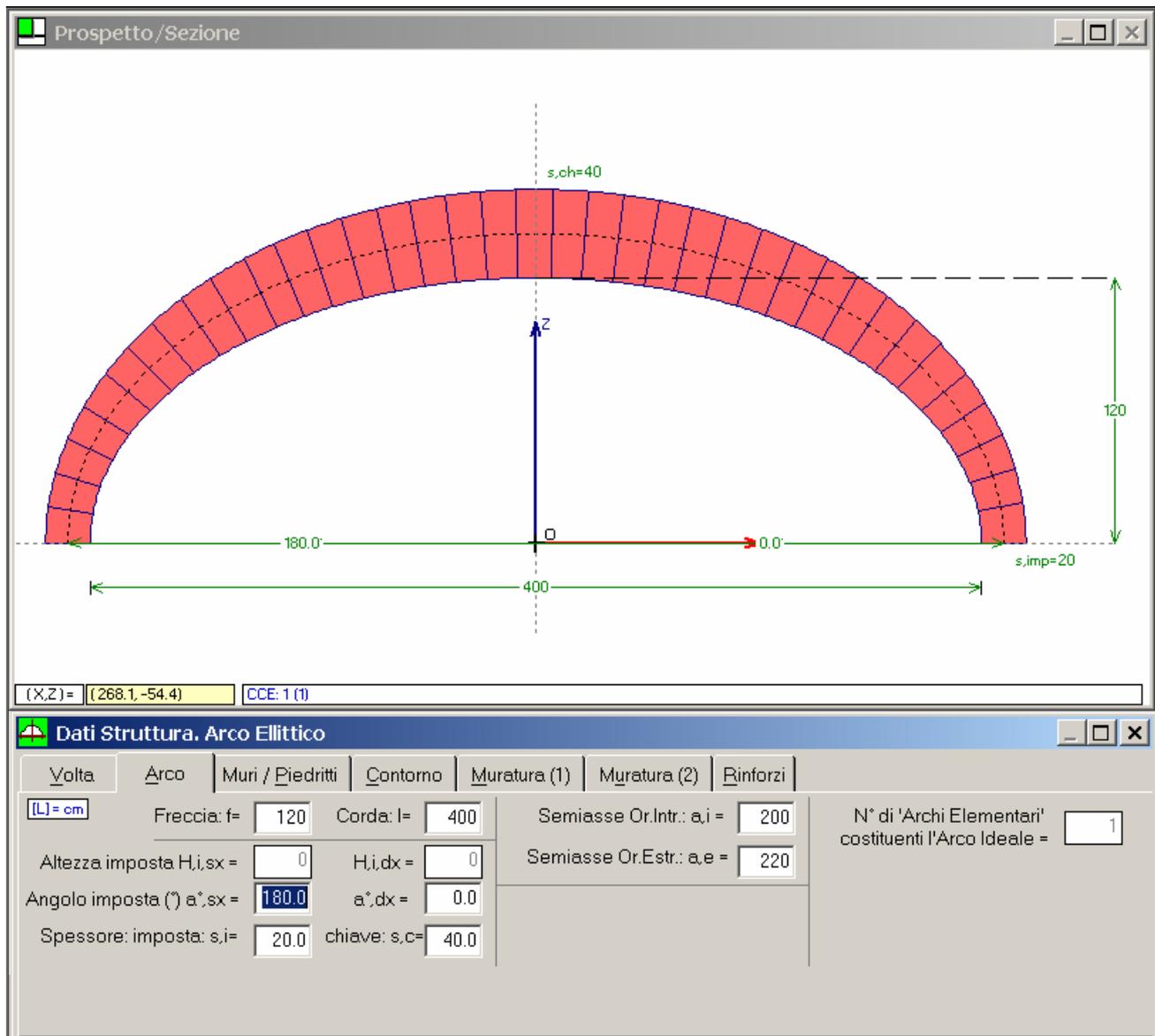


Fig. 4.2.13. Arco Ellittico

L'elenco dei dati geometrici caratteristici in input è il seguente:

Freccia; corda (la corda si riferisce sempre alla distanza fra i vertici estremi di intradosso, cioè all'asse orizzontale dell'ellisse di intradosso); angolo d'imposta sinistro (gli angoli di imposta si riferiscono all'ellisse media, cioè all'asse dell'arco); angolo d'imposta destro; spessore all'imposta (è lo spessore all'imposta orizzontale. Se dunque, con riferimento all'imposta sinistra, l'angolo di imposta non è pari a 180° , si deve idealmente proseguire l'arco d'ellisse di intradosso fino all'asse orizzontale dell'ellisse (asse X), e lo spessore rappresenterà la distanza dell'estradosso in direzione orizzontale); spessore in chiave. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nel centro dell'ellisse.

L'arco preimpostato è caratterizzato dai seguenti valori numerici (modificabili a piacere dall'Utente, per descrivere il proprio particolare arco):

freccia (120);

corda (400). La corda si riferisce sempre alla distanza fra i vertici estremi di intradosso, cioè all'asse orizzontale dell'ellisse di intradosso;

angolo d'imposta sinistro (180). Gli angoli di imposta si riferiscono all'ellisse media, cioè all'asse dell'arco;

angolo d'imposta destro (0);

spessore all'imposta (20): è questo lo spessore all'imposta orizzontale. Se, con riferimento all'imposta sinistra, l'angolo di imposta non è pari a 180° , si deve idealmente proseguire l'arco d'ellisse di intradosso fino all'asse orizzontale dell'ellisse (asse X), e lo spessore rappresenterà la distanza dell'estradosso in direzione orizzontale;

spessore in chiave (40).

Nella figura, i parametri in colore verde rappresentano i dati in input; quelli in blu corrispondono a parametri geometrici ricavati dai dati in input.

4.2.8. ARCO DEFINITO PER PUNTI

Dati Struttura. Arco per Punti

Volta | Arco | Muri / Piedritti | Contorno | Muratura (1) | Muratura (2) | Rinforzi

[L] = cm

Numero di Punti = 13

Dati 'Archi Elementari' (coordinate intradosso, spessori, profondità)...

Definizione automatica dell'angolo di imposta

Profilo di estradosso continuo

Arco per Punti: Dati Archi Elementari (13)

Numero dell'interfaccia	X intradosso (cm)	Z intradosso (cm)	Spessore (cm)	Profondità concio (cm)
1	0.0	0.0	40.0	100.0
2	50.0	66.3	40.0	100.0
3	100.0	89.4	40.0	100.0
4	150.0	103.9	40.0	100.0
5	200.0	113.1	40.0	100.0
6	250.0	118.3	40.0	100.0
7	300.0	120.0	40.0	100.0
8	350.0	118.3	40.0	100.0
9	400.0	113.1	40.0	100.0
10	450.0	103.9	40.0	100.0
11	500.0	89.4	40.0	100.0
12	550.0	66.3	40.0	100.0
13	600.0	0.0	40.0	

Fig. 4.2.14. Arco definito per punti

L'elenco dei dati geometrici caratteristici in input è il seguente:

Angolo di imposta sinistro; angolo di imposta destro; profilo di estradosso continuo (in caso affermativo, la curva di estradosso collega con continuità i conci senza scalini dovuti alle variazioni di spessore); numero di Punti; Coordinate Intradosso, Spessori e Profondità in corrispondenza dei Punti.

L'arco preimpostato è caratterizzato dai seguenti valori numerici (modificabili a piacere dall'Utente, per descrivere il proprio particolare arco):

angolo di imposta sinistro (180);

angolo di imposta destro (0). Sugli angoli di imposta degli archi definiti per punti si consulti anche il par. 4.2.1. (finestra Coordinate);

profilo di estradosso continuo: vero. L'attivazione di questa opzione fa in modo che la curva di estradosso 'colleghi' con continuità i conci senza scalini dovuti alle variazioni di spessore. Nel caso di fig. 4.2.14 l'arco presenta, lungo i vari tratti rettilinei che lo definiscono, sempre lo stesso spessore di 40 cm. In fig. 4.2.15 è invece riportato un altro esempio di arco definito per punti, dove ai vertici successivi che definiscono la curva d'intradosso corrispondono spessori diversi. Se l'opzione 'Profilo di Estradosso continuo' è attivata, l'arco assume la configurazione di fig. 4.2.15; nel caso opposto, l'estradosso si presenta a scalini (fig. 4.2.16).

The screenshot displays the 'Prospetto/Sezione' window showing a semi-circular arch with a variable thickness profile. The arch is rendered in pink and is supported by a base. A vertical dimension line indicates a height of 350 units, and a horizontal dimension line at the base indicates a span of s=250 units. The interface includes a 'Dati Struttura. Arco per Punti' panel with various settings and a 'Dati Archi Elementari (36)' table.

Dati Struttura. Arco per Punti

Volta | Arco | Muri / Piedritti | Contorno | Muratura (1) | Muratura (2) | Rinforzi

[L] = cm

Numero di Punti = 36

Angolo imposta (°) a°,sx = 180.0 a°,dx = 0.0

Definizione automatica dell'angolo di imposta

Profilo di estradosso continuo

Arco per Punti: Dati Archi Elementari (36)

Numero dell'interfaccia	X intradosso (cm)	Z intradosso (cm)	Spessore (cm)	Profondità concio (cm)
1	0.0	0.0	100.0	100.0
2	1.4	31.4	102.0	100.0
3	5.6	62.5	108.0	100.0
4	12.6	93.1	117.0	100.0
5	22.3	123.0	131.0	100.0
6	34.7	151.9	150.0	100.0
7	49.5	179.5	166.0	100.0
8	66.8	205.7	143.0	100.0
9	86.4	230.3	123.0	100.0
10	108.1	253.0	105.0	100.0
11	131.8	273.6	90.0	100.0
12	157.2	292.1	77.0	100.0
13	184.1	308.2	66.0	100.0
14	212.4	321.8	57.0	100.0
15	241.8	332.9	50.0	100.0
16	272.1	341.8	45.0	100.0

Fig. 4.2.15. Arco definito per punti con spessore variabile. Profilo di estradosso continuo

(X,Z)= (1247.1,35.5) CCE: 1 (1)

Dati Struttura. Arco per Punti

Volta Arco Muri / Piedritti Contorno Muratura (1) Muratura (2) Rinforzi

[L]= cm

Numero di Punti = 36

Angolo imposta (*) a°.sx = 180.0 a°.dx = 0.0

Definizione automatica dell'angolo di imposta

Dati 'Archi Elementari' (coordinate intradosso, spessori, profondità)...

Profilo di estradosso continuo

Arco per Punti: Dati Archi Elementari (36)

Numero dell'interfaccia	X intradosso (cm)	Z intradosso (cm)	Spessore concio (cm)	Profondità concio (cm)
1	0.0	0.0	100.0	100.0
2	1.4	31.4	102.0	100.0
3	5.6	62.5	108.0	100.0
4	12.6	93.1	117.0	100.0
5	22.3	123.0	131.0	100.0
6	34.7	151.9	150.0	100.0
7	49.5	179.5	166.0	100.0
8	66.8	205.7	143.0	100.0
9	86.4	230.3	123.0	100.0
10	108.1	253.0	105.0	100.0
11	131.8	273.6	90.0	100.0
12	157.2	292.1	77.0	100.0
13	184.1	308.2	66.0	100.0
14	212.4	321.8	57.0	100.0
15	241.8	332.9	50.0	100.0
16	272.1	341.8	45.0	100.0

Fig. 4.2.16. L'arco di fig. 4.2.15, ma con profilo di estradosso NON continuo

Completiamo l'elenco dei dati dell'arco definito per punti, tornando a fare riferimento alla fig. 4.2.14:

numero di punti (13);

Coord. Intradosso, Spessori: questi parametri sono definiti nella finestra Coordinate.

L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è automaticamente posta nel vertice di intradosso iniziale (punto n°1); se l'Utente ha utilizzato un diverso sistema di riferimento, le coordinate verranno comunque traslate in seguito alla conferma dei dati della finestra Coordinate (nel caso di input da file DXF questa stessa operazione avviene automaticamente nel corso dell'importazione del file).

Nella figura, in blu sono riportati due parametri ricavati dai dati: le massime distanze X e Y fra tutti i punti che definiscono la curva d'intradosso dell'arco.

4.2.9. PIATTABANDA

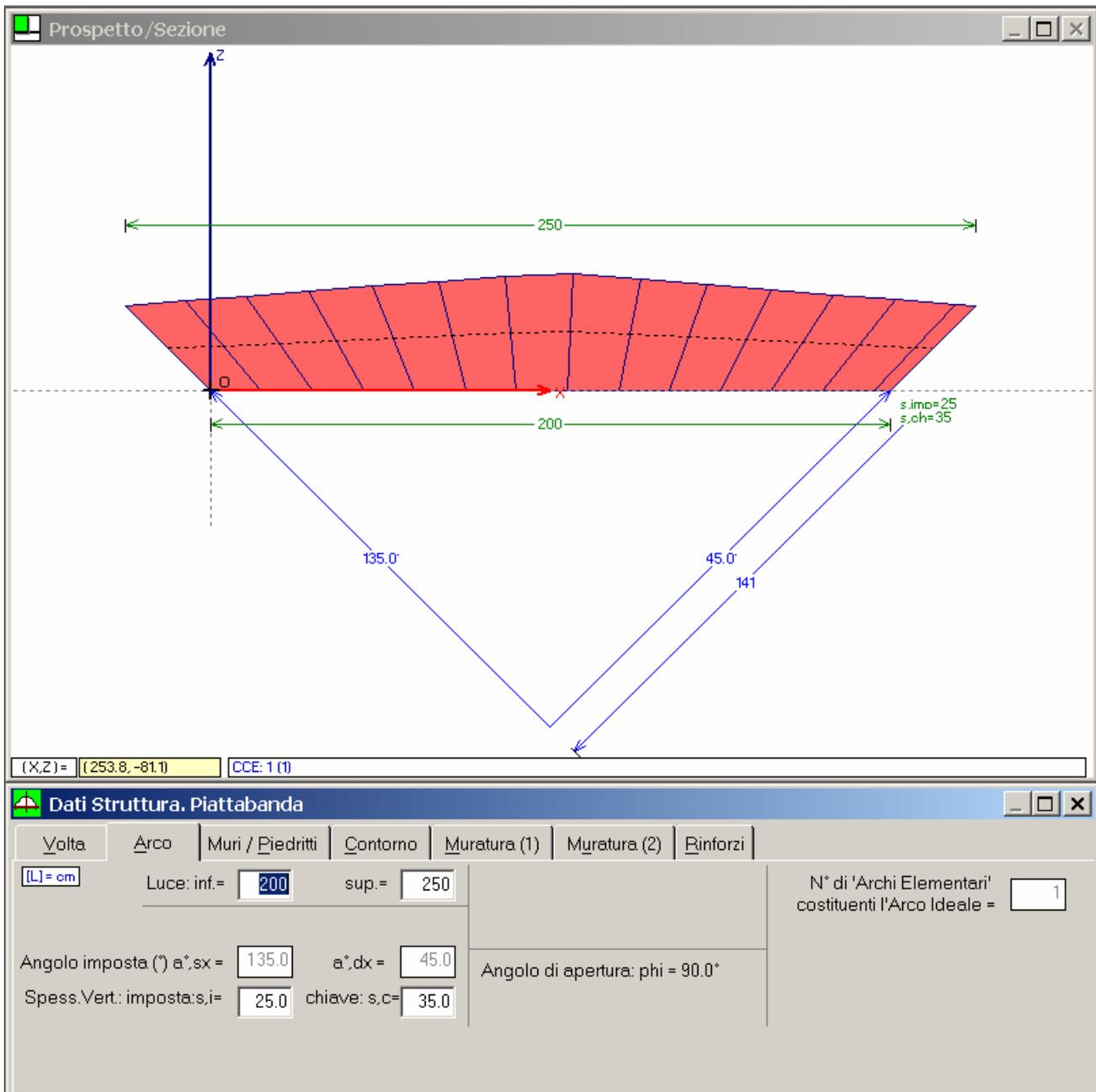


Fig. 4.2.17. Piattabanda

L'elenco dei dati geometrici caratteristici in input è il seguente:

Luca inferiore; luca superiore; spessore all'imposta; spessore in chiave. Gli spessori sono misurati in direzione verticale; quello all'imposta, a partire dall'origine degli assi (cioè dal vertice d'intradosso iniziale), e quello in chiave lungo l'asse di simmetria (asse verticale di mezzeria). L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nel vertice iniziale (sinistro) d'intradosso.

L'arco preimpostato è caratterizzato dai seguenti valori numerici (modificabili a piacere dall'Utente, per descrivere il proprio particolare arco):

luca inferiore (200);

luca superiore (250);

spessore all'imposta (25);

spessore in chiave (35).

Gli spessori sono misurati in direzione verticale; quello all'imposta, a partire dall'origine degli assi (cioè dal vertice d'intradosso iniziale), e quello in chiave lungo l'asse di simmetria (asse verticale di mezzeria).

Nella figura, i parametri in colore verde rappresentano i dati in input; quelli in blu corrispondono a parametri

geometrici ricavati dai dati in input.

4.3. Scheda MURI / PIEDRITTI

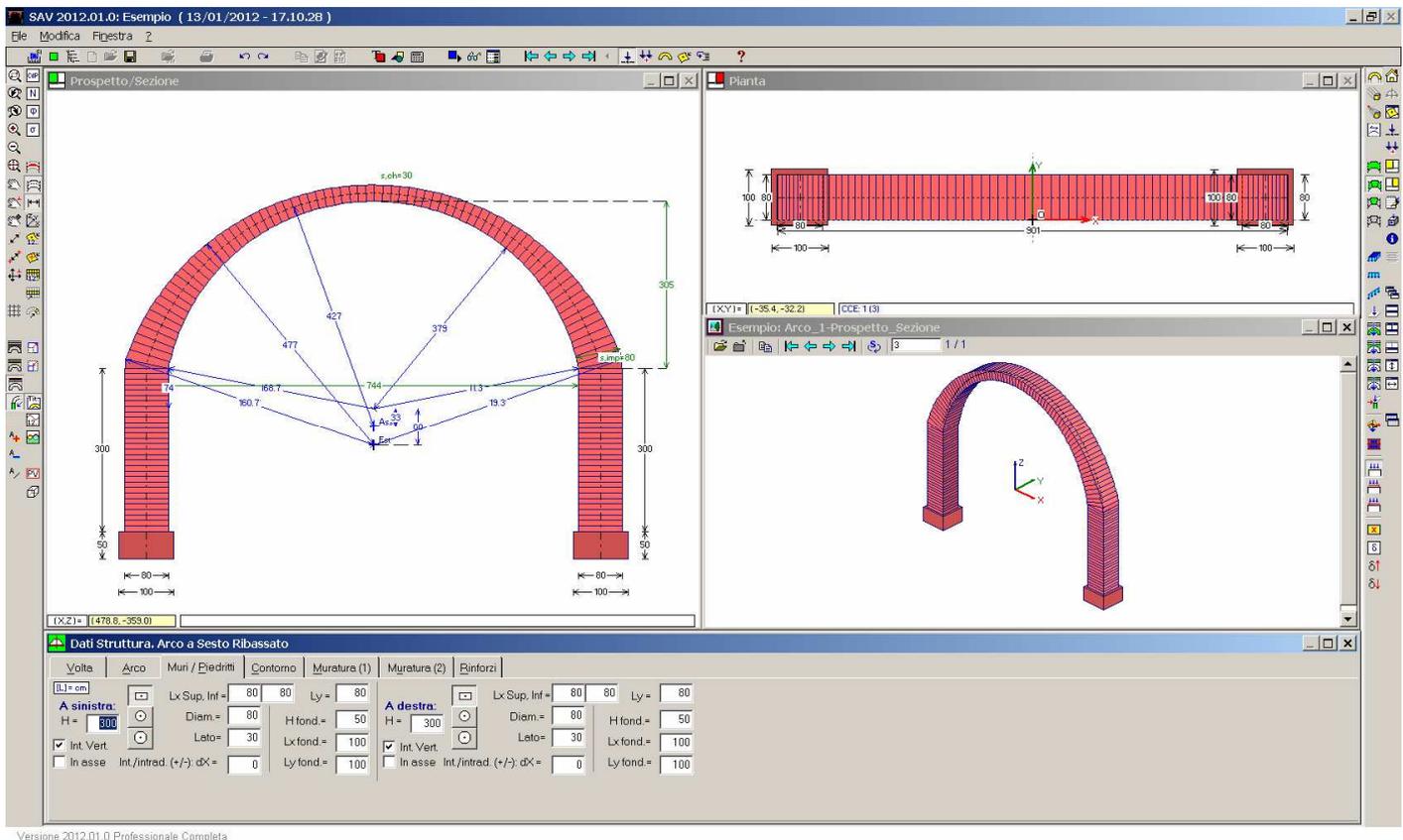


Fig. 4.3.1. Finestra Struttura: scheda Muri / Piedritti

Contiene i parametri che descrivono le strutture d'imposta della Volta, muri (nel caso di struttura voltata estesa) o piedritti (corrispondenti al caso del Singolo Arco).

Separatamente per piedritto sinistro e per piedritto destro, vengono specificati i seguenti parametri.

- **Altezza;**

- **Tipologia della sezione** (Rettangolare, Circolare, Ottagonale). Per la sezione Rettangolare: dimensione lungo l'asse X (Lx) superiore (sommità) e inferiore (base), e dimensione lungo l'asse Y (Ly). Per la sezione Rettangolare è quindi possibile specificare piedritti a sezione variabile linearmente in altezza; è inoltre possibile specificare se la superficie d'intradosso (interna alla Volta) è verticale: questo parametro ha influenza ovviamente solo nel caso di sezione variabile in altezza. Per la sezione Rettangolare è inoltre possibile specificare se il piedritto è unico oppure viene suddiviso in porzioni corrispondenti agli Archi Ideali che vi si impostano. Se il piedritto è unico (non diviso), tutte le azioni di imposta provenienti dai vari Archi Ideali vengono composte sulla sezione di sommità del piedritto stesso. Per la sezione Circolare, viene richiesto il diametro; per la sezione Ottagonale, il lato. Nel caso di Volta composta da più Archi Ideali, la sezione dei piedritti è obbligatoriamente rettangolare;

- **Distanza dX** fra superficie interna del piedritto e punto di intradosso dell'imposta dell'arco;

- **Dimensioni della fondazione:** altezza e dimensioni lungo X e lungo Y.

4.4. Scheda CONTORNO

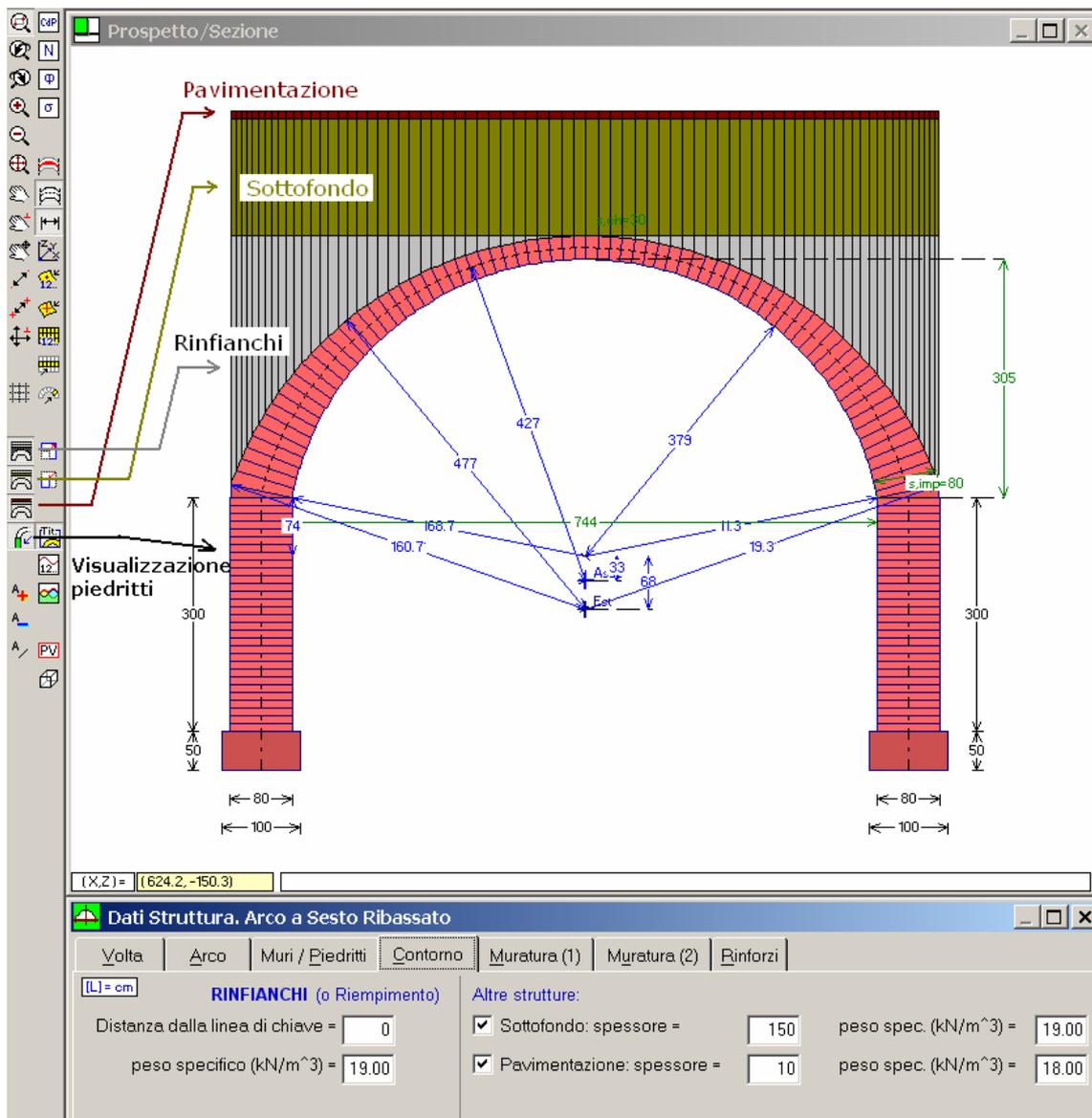


Fig. 4.4.1. Finestra Struttura: scheda Contorno

Questo gruppo di dati contiene i parametri che descrivono le strutture di contorno: Rinfianchi, Sottofondo, Pavimentazione.

I rinfianchi (o riempimento) sono definiti dal volume sovrastante l'arco fino al massimo alla quota di estradosso in chiave (o fino ad una quota inferiore rispetto alla linea orizzontale di chiave, quota definita dalla distanza dalla linea di chiave stessa).

Si parla, più propriamente, di 'rinfianchi' quando la struttura di contorno assume valenza strutturale, mentre il 'riempimento' corrisponde a materiale avente semplicemente la funzione di peso sull'arco. È noto che il peso del rinfianco o riempimento svolge un ruolo generalmente benefico sulla statica dell'arco, stabilizzandone la curva delle pressioni (anche se una massa eccessiva potrebbe non essere favorevole per il comportamento sismico della struttura). Le strutture sovrastanti (sottofondo, pavimentazione) si impostano immediatamente sopra la linea di chiave dell'arco.

In SAV, rinfianchi, sottofondo e pavimentazione svolgono un ruolo di puro carico nei confronti dell'unico elemento strutturale analizzato, cioè l'arco. Nella realtà, tali sovrastrutture esercitano anche un ruolo di vincolo e, in certi casi, di struttura resistente. Per esempio, la verifica sismica condotta sul solo arco in presenza di una solidarizzazione alla muratura di contorno (è il caso di un arco inserito come apertura nella facciata di un edificio) è sicuramente a vantaggio di sicurezza, in quanto nella realtà la funzione strutturale dell'arco verrà 'integrata' dalla collaborazione col resto della struttura.

Infine, lo spessore di sottofondo e/o pavimentazione può contribuire alla diffusione dei carichi applicati, pensati

agenti sulla superficie superiore della struttura (quindi, p.es. sopra la pavimentazione). Un carico generico (di superficie, lineare o concentrato) verrà infatti diffuso a 45° entro tale spessore, qualora la corrispondente opzione sia attivata nella definizione del carico stesso (nell'ambito di definizione delle CCE).

4.5. Schede MURATURA (1), (2)

Dati Struttura. Arco a Sesto Ribassato

Volta | Arco | Muri / Piedritti | Contorno | **Muratura (1)** | Muratura (2) | Rinforzi

Muratura VOLTA: Tipologia: 21) 6-LC 1) Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Resistenza media a Compressione: f,m (N/mm²) = 1.800 Peso Spec. (kN/m³) = 18.00

Fattore di Confidenza F_C (secondo §C8A.4.2.2: $F_C=1.35$ indipendentemente da LC in caso di resistenza a compressione infinita). F_C = 1.35 Coefficiente d'attrito a livello dei giunti: f = 0.40

Resistenze di progetto: compressione: $f_{md} = f,m / \gamma_M$; attrito (scorrimento): f,d :

Statica ($\gamma_M=3.00$): $f_{md} = 0.444$; $f,d = 0.40$ (21.8°) Sismica ($\gamma_M=2.00$): $f_{md} = 0.667$; $f,d = 0.40$ (21.8°)

Fig. 4.5.1. Finestra Struttura: schede Muratura (1)

I gruppi di dati Muratura contengono i parametri che descrivono il materiale murario: (1) della Volta; (2) dei Piedritti. In fig. 4.5.1 è riportato un esempio di scheda Muratura (1); la scheda (2), dedicata ai piedritti, è del tutto analoga.

Resistenza media a compressione f,m = può essere nota da prove sperimentali, oppure ricavata da formulazioni proposte in Normativa. La Normativa Italiana ha aggiornato i dati riguardanti la muratura esistente nella tabella C8A.2.1 della Circ.617 del 2.2.2009; tuttavia si deve tener presente che tali parametri fanno riferimento a 'pareti murarie portanti' e quindi per le murature degli archi la situazione può essere anche molto diversa. Si pensi ad esempio agli archi con giunti a secco, dove la resistenza a compressione diventa quella tipica della pietra, con valori certamente più elevati rispetto a quelli proposti dalla Norma citata. Per ottenere la resistenza a compressione di progetto f_{md} si deve dividere f,m per γ_M (definito nei Parametri di Calcolo e differenziato fra Analisi Statica e Analisi Sismica) e per F_C .

Peso Specifico

Coefficiente d'attrito a livello dei giunti: f = il coefficiente d'attrito f è definito come la tangente dell'angolo d'attrito interno φ fra due blocchi (conci) consecutivi, ed è utilizzato per le verifiche a scorrimento. Nel caso di presenza di malta, il valore normalmente utilizzato per φ è 35° ($\Rightarrow f=0.70$); nel caso di muratura a secco occorre inserire l'angolo d'attrito fra blocchi di pietra.

Per ottenere il valore di progetto f,d del coefficiente d'attrito è possibile, a seconda della scelta effettuata nei Parametri di Calcolo (scheda Verifiche), applicare o meno il coefficiente di sicurezza γ ottenendo moltiplicando γ_M (definito nei Parametri di Calcolo e differenziato fra Analisi Statica e Analisi Sismica) per F_C .

La riduzione dovuta al coefficiente di sicurezza può essere evitata qualora il valore in input del coefficiente d'attrito sia già il valore di progetto ($f,d=f$, come ad esempio in fig. 4.5.1): in tal caso, il valore di progetto del coefficiente d'attrito f,d è identico in analisi statica e in analisi sismica.

Fattore di Confidenza F_C . Se si adotta l'ipotesi di Resistenza a Compressione infinita, ossia: non si esegue la Verifica a Compressione (scelta effettuata nei Parametri di Calcolo) il valore di F_C deve essere quello corrispondente a LC1: 1.35 [§C8A.4.2.2]. Se invece si esegue la verifica a compressione, il che equivale a considerare una resistenza a compressione finita, si potrà utilizzare il valore di F_C corrispondente all'effettivo livello di conoscenza con cui si è valutata la resistenza a compressione. Oltre che sulle resistenze di progetto, il valore di F_C influisce sulla analisi cinematica del meccanismo di collasso (§C8A.4.4): a valori di F_C minori corrispondono capacità della struttura più elevate.

In basso, nella scheda, due etichette aggiornate in tempo reale mostrano i valori correnti delle resistenze di progetto (resistenza a compressione e coefficiente d'attrito), differenziate fra Analisi Statica e Analisi Sismica, a causa dei diversi valori statico e sismico che possono essere assunti da γ_M . Quando il coefficiente d'attrito di progetto è calcolato senza applicare γ_M e F_C , si ha $f,d=f$. Accanto a f,d è riportato fra parentesi (in gradi) il corrispondente angolo di scorrimento φ tale che $f,d=\text{tg}\varphi$: esso costituisce il limite di confronto per le verifiche ad attrito.

4.5.1. FINESTRA TABELLA MATERIALI

N°	Col.	Descrizione	f,m (N/mm ²)	Peso sp. (kN/m ³)
1		1-LC 1) Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1.000	19.00
2		1-LC 2) Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1.400	19.00
3		1-LC 1) con malta di buone caratteristiche	1.500	19.00
4		1-LC 2) con malta di buone caratteristiche	2.100	19.00
5		2-LC 1) Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	2.000	20.00
6		2-LC 2) Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	2.500	20.00
7		2-LC 1) con malta di buone caratteristiche	2.800	20.00
8		2-LC 2) con malta di buone caratteristiche	3.500	20.00
9		3-LC 1) Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2.600	21.00
10		3-LC 2) Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	3.200	21.00
11		3-LC 1) con malta di buone caratteristiche	3.380	21.00
12		3-LC 2) con malta di buone caratteristiche	4.160	21.00
13		4-LC 1) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1.400	16.00
14		4-LC 2) Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1.900	16.00
15		4-LC 1) con malta di buone caratteristiche	2.100	16.00
16		4-LC 2) con malta di buone caratteristiche	2.815	16.00
17		5-LC 1) Muratura a blocchi lapidei squadrati	6.000	22.00
18		5-LC 2) Muratura a blocchi lapidei squadrati	7.000	22.00
19		5-LC 1) con malta di buone caratteristiche	7.200	22.00
20		5-LC 2) con malta di buone caratteristiche	8.400	22.00
21		6-LC 1) Muratura in mattoni pieni e malta di calce	2.400	18.00
22		6-LC 2) Muratura in mattoni pieni e malta di calce	3.200	18.00
23		6-LC 1) con malta di buone caratteristiche	3.600	18.00
24		6-LC 2) con malta di buone caratteristiche	4.800	18.00
25		7-LC 1) Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI)	5.000	15.00
26		7-LC 2) Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI)	6.500	15.00
27		7-LC 1) con malta di buone caratteristiche	6.500	15.00
28		7-LC 2) con malta di buone caratteristiche	8.450	15.00
29		8-LC 1) Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc.foratura <45%)	4.000	12.00
30		8-LC 2) Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc.foratura <45%)	5.000	12.00
31		8-LC 1) con malta di buone caratteristiche	5.200	12.00
32		8-LC 2) con malta di buone caratteristiche	6.500	12.00
33		9-LC 1) Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc.foratura <45%)	3.000	11.00
34		9-LC 2) Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc.foratura <45%)	3.500	11.00
35		9-LC 1) con malta di buone caratteristiche	3.900	11.00
36		9-LC 2) con malta di buone caratteristiche	4.550	11.00
37		10-LC 1) Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc.foratura tra 45% e 65%)	1.500	12.00
38		10-LC 2) Muratura in blocchi di calcestruzzo (perc.foratura tra 45% e 65%)	1.750	12.00
39		10-LC 1) con malta di buone caratteristiche	1.950	12.00
40		10-LC 2) con malta di buone caratteristiche	2.275	12.00
41		11-LC 1) Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni	3.000	14.00
42		11-LC 2) Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni	3.700	14.00
43		11-LC 1) con malta di buone caratteristiche	3.900	14.00
44		11-LC 2) con malta di buone caratteristiche	4.810	14.00

Fig. 4.5.2. Finestra Tabella Materiali standard (unità di misura: Sistema Internazionale)

La Tabella Materiali è un archivio presente in ogni progetto, quindi può differire da un progetto all'altro a seconda delle modifiche effettuate dall'utente.

SAV fornisce una tabella materiali contenente i parametri descritti nella Normativa vigente, inserita nella struttura di default che viene posta in linea ogni qual volta si crea un nuovo progetto. Editando la tabella, l'utente potrà apportare le opportune modifiche, anche aggiungendo nuove tipologie.

I nuovi materiali possono essere introdotti nella tabella materiali. Si tenga presente che pur cambiando i parametri nella **Tabella Materiali**, non cambiano i parametri corrispondenti nei Dati Struttura: il collegamento interattivo fra le due finestre, infatti, non esiste. Nei Dati Struttura, nelle schede Muratura(1) e Muratura(2), i parametri sui materiali vengono aggiornati solo quando letti attraverso la selezione della casella a discesa. Un aggiornamento automatico può verificarsi nel caso che il numero identificativo del materiale (p.es. n°21)... non sia più presente in una tabella successivamente caricata.

In fig. 4.5.2 è riportata la tabella materiali standard che può essere letta in ogni momento dall'apposito comando del menu Opzioni (Carica Tabella Standard). Essa contiene tutti i dati della Tab. C8A.2.1, riferiti a LC1 e LC2 e al caso di malta normale o con buone caratteristiche (qualifica che determina una variazione nei parametri di resistenza). Ai fini delle verifiche svolte in SAV, i parametri sui materiali che interessano sono la resistenza a compressione ed il peso specifico medio.

Dati TABELLA MATERIALI

Col. = Colore rappresentativo del materiale. Facendo doppio clic sulla casella colorata, si apre la finestra di dialogo 'Colori' che permette la scelta di un diverso colore per il materiale corrente; la scelta di un nuovo colore produrrà la rigenerazione automatica dei disegni visualizzati contenenti i colori dei materiali. Il doppio clic sul campo 'Col.' equivale al comando 'Colore' del menu Modifica.

Descrizione = Codice alfanumerico di descrizione del materiale.

 **Suggerimento** Invece di modificare la tabella preimpostata, i materiali definiti dall'Utente possono essere direttamente aggiunti all'elenco. In tal modo, mentre permangono in tabella i dati così come previsti dal documento normativo, è comunque possibile fare riferimento a materiali diversi. ■

f,m = resistenza media a compressione della muratura.

Peso sp. = peso specifico della muratura.

Menu MODIFICA

Aggiungi = Aggiunge un tipo di materiale al termine della tabella, posizionandovi la cella corrente in corrispondenza della colonna corrente.

Inserisci = Inserisce un tipo di materiale nella posizione corrente della cella, scalando quindi di uno verso il basso la numerazione di tutti i tipi ad esso successivi. La cella corrente resta nella posizione attuale.

Elimina = Elimina il tipo di materiale corrente.

Colore... = Apre la finestra di dialogo 'Colori' che permette la scelta di un diverso colore per il materiale corrente; la scelta di un nuovo colore produrrà la rigenerazione automatica dei disegni visualizzati contenenti i colori dei materiali. Questo comando equivale al doppio clic sul campo 'Col.'.

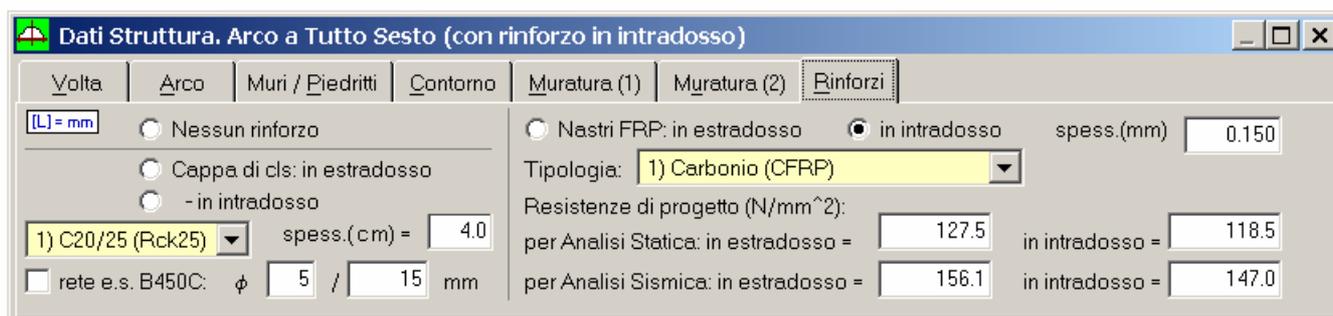
Menu OPZIONI

Salva come Tabella Utente = Salva la corrente Tabella Materiali come tabella Utente nel file Mat.tab contenuto in \Aedes2012\Sav\Files

Carica Tabella Utente = Recupera la Tabella Materiali Utente (Mat.tab, in \Aedes2012\Sav\Files) e la utilizza per reimpostare la tabella materiali della struttura corrente.

Carica Tabella Standard = Recupera i valori standard predisposti da SAV per la Tabella Materiali, utilizzandoli per reimpostare la tabella materiali della struttura corrente.

4.7. Scheda RINFORZI



Dati Struttura. Arco a Tutto Sesto (con rinforzo in intradosso)

Volta | Arco | Muri / Piedritti | Contorno | Muratura (1) | Muratura (2) | **Rinforzi**

[L]= mm

Nessun rinforzo

Cappa di cls: in estradosso

- in intradosso

1) C20/25 (Rck25) spess.(cm) = 4.0

rete e.s. B450C: ϕ 5 / 15 mm

Nastri FRP: in estradosso in intradosso spess.(mm) 0.150

Tipologia: 1) Carbonio (CFRP)

Resistenze di progetto (N/mm²):

per Analisi Statica: in estradosso =	127.5	in intradosso =	118.5
per Analisi Sismica: in estradosso =	156.1	in intradosso =	147.0

Fig. 4.7.1. Dati Struttura: scheda Rinforzi

La scheda 'Rinforzi' contiene i parametri che descrivono le strutture di rinforzo previste per interventi di consolidamento della struttura voltata.

I rinforzi sono distinti in due gruppi:

- rinforzi di superficie, che interessano la superficie di intradosso o di estradosso dell'arco;
- rinforzi puntuali, caratterizzati dalle catene. Per ogni Arco Ideale costituente la Volta, è possibile definire una catena nel gruppo dati 'Volta'. Le catene negli archi possono essere inserite contemporaneamente a rinforzi di superficie.

Per quanto riguarda i rinforzi di superficie, è possibile specificare alternativamente due tipologie:

- **cappa in calcestruzzo**, in estradosso o intradosso, avente un certo spessore; se la corrispondente opzione è selezionata, la cappa è armata con la rete elettrosaldata specificata (considerata per default in acciaio B450C);
- **nastri in composito fibrorinforzato** a matrice polimerica (FRP, sigla di "Fiber Reinforced Plastic"), posti in

estradosso oppure in intradosso.

Dal punto di vista dell'analisi strutturale, nel procedimento di calcolo sarà possibile accettare trazioni nel lato rinforzato, fermo restando il vincolo di garantire che la muratura sia sempre compressa (cioè che vi siano solo sforzi di compressione nel lato sola muratura). Le trazioni, laddove insorgano sul lato rinforzato, saranno utilizzate per la verifica della struttura di rinforzo, e più precisamente per la verifica della rete e.s. nel caso della cappa o dei nastri tesi nel caso dei compositi fibrorinforzati.

Per la rete e.s. il confronto dello sforzo di trazione sarà svolto con la capacità di resistenza della rete, con riferimento al numero di tondini incontrati lungo la profondità dell'arco e alla tensione di snervamento dell'acciaio B450C (391 N/mm²; infatti: $f_{yk}=450$ N/mm² (§11.3.2.1 D.M.14.1.2008), $f_{yd}=f_{yk}/\gamma_S=450/1.15=391$ N/mm²: §3.2.7 EC2 e §2.4.2.2(1) EC2 per γ_S ; §4.1.2.1.1.3 D.M.14.1.2008).

La cappa può non essere armata (assenza di rete): in tal caso, l'incremento di sicurezza della struttura è legato all'aumento del carico, i cui effetti possono essere favorevoli staticamente ma di dubbia efficacia se non sfavorevoli dal punto di vista sismico (aumento della massa). Le verifiche competenti al rinforzo riguardano solo la tensione di compressione nel calcestruzzo.

Le tensioni di compressione competenti ad uno sforzo normale di compressione agente nella biella posta nella superficie consolidata (estradosso o intradosso) vengono calcolate ipotizzando una distribuzione uniforme nella cappa di calcestruzzo e confrontate, per la verifica di sicurezza, con f_{cd} , resistenza di progetto del calcestruzzo, il cui valore è calcolato secondo §4.1.2.1.1:

$$f_{cd} = \eta * \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$$

con:
 $\alpha_{cc} = 0.85$, $\gamma_c = 1.5$; il coefficiente η vale 0.80 nel caso di soletta con spessore inferiore a 50 mm., 1.00 altrimenti.

Per i nastri in FRP, lo sforzo sarà confrontato con la resistenza a trazione di progetto, distinta nei casi di estradosso ed intradosso e nei valori competenti al tipo di Analisi, Statica o Sismica (questo perchè la resistenza di trazione per delaminazione è influenzata dalla resistenza di progetto della muratura e quindi dal coefficiente parziale di sicurezza γ_M che può assumere valori diversi tra Statica e Sismica).

L'elaborazione di calcolo prevede in tal caso la possibilità di definire le superfici di nastro ottimali, necessarie a garantire la verifica di resistenza a trazione. I dati richiesti per i nastri in FRP (la cui tipologia può essere varia: carbonio ad alta resistenza, vetro, polivinilalcol, ecc.) sono i seguenti:

- **Spessore** = nel caso di più strisce sovrapposte, occorre specificare lo spessore complessivo;
- **Resistenza a trazione di progetto in estradosso, in intradosso** (distinta per Analisi Statica e Sismica) = è la resistenza di progetto, calcolata preventivamente e inserita in input, riferita al rinforzo in estradosso o in intradosso. Si possono specificare entrambe, anche se nel calcolo verrà ovviamente utilizzata solo quella che si riferisce alla posizione del rinforzo.

La resistenza in intradosso è generalmente inferiore a quella in estradosso, a causa della curvatura dell'arco. Alle considerazioni sull'utilizzo in SAV di rinforzi in FRP è dedicato l'esempio di progettazione P5 (cfr. p. 5 del Volume 3 del Manuale di SAV: Esempi applicativi - Procedure di validazione).

- **Tipologia**: la scelta della tipologia è effettuata da un elenco a discesa, avente semplicemente la funzione di indicare il tipo di fibra. Cambiando tipologia di FRP non c'è un aggiornamento automatico delle resistenze, la cui valutazione deve essere effettuata dall'Utente tenendo conto sia della resistenza a rottura per trazione delle fibre, sia della resistenza per delaminazione.

Per un esempio sulle modalità di calcolo delle resistenze di progetto, si rimanda al Vol. 3 del Manuale di SAV (Esempi applicativi - Procedure di validazione), e più precisamente all'esempio di progettazione P5.

L'elenco delle tipologie è predisposto nel file di testo:

Frp.txt

posto nel percorso \Sav\Files, che può essere modificato a piacere dall'Utente, aggiungendo altre tipologie. Si faccia attenzione a rispettare la struttura delle righe, dove il nome identificativo della tipologia è posto tra virgolette:

"Nome tipologia FRP"

5. GESTIONE DEI CARICHI

I carichi vengono definiti in Condizioni di Carico Elementari (CCE), e ad ogni carico (ad eccezione dei pesi propri) è possibile associare l'effetto del moltiplicatore in direzione verticale o orizzontale.

Ai carichi competenti a pesi propri non è attribuibile il moltiplicatore verticale, mentre il moltiplicatore orizzontale viene ad essi automaticamente applicato in analisi sismica.

E' possibile definire aree di carico, e più esattamente: carichi di superficie, lineari e concentrati, variamente disposti sull'estradosso della pavimentazione della volta.

Le CCE vengono combinate in Combinazioni di Condizioni di Carico (CCC), che costituiranno appunto i casi di carico analizzati.

Semplici check attivano, nella singola CCE, l'effetto dei pesi propri della volta, dei rinfianchi (suddividendo il caso di rinfianco dalla parte sinistra e dalla parte destra, per esaminare per esempio i casi di parziale svuotamento durante le operazioni di cantiere in interventi di consolidamento), del sottofondo e della pavimentazione.

5.1. FINESTRA CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI (CCE)

N°	Commento	Psi.2 (S.L.U.)	P.p. volta	P.p. rinf.sx	P.p. rinf.dx	P.p. sottof.	P.p. pavim.	Carichi di superficie	Carichi lineari	Carichi concentrati	Car. aggiuntivi sui piedritti
1	Condizione di Carico n° 1	1.00	<input checked="" type="checkbox"/>								

Fig. 5.1.1. Dati Condizioni di Carico Elementari (CCE)

La **tabella delle CCE** è rappresentata in fig. 5.1.1. Il significato dei parametri in input è il seguente:

Psi,2 (S.L.U.) = (ψ_2) con riferimento alla Normativa tecnica Italiana (D.M. 14.1.2008, § 3.2.4), è un coefficiente che tiene conto della probabilità di presenza del carico in fase sismica. Verrà posto pari a 0 per le CCE che non si vuole influiscano sull'analisi sismica; altrimenti, assumerà i valori $\psi_2 = 1$, per carichi permanenti, e $\psi_2 < 1$ per carichi variabili. Per condurre una corretta analisi sismica, le CCE dovranno quindi essere suddivise almeno in tante condizioni di carico quanti sono i gruppi di carico corrispondenti a valori di ψ_2 distinti (in genere: una CCE per i carichi permanenti, una per ogni tipo di carico variabile indipendente);

P.p. volta, P.p. rinf.sx, P.p. rinf.dx, P.p. sottof., P.p. pav. = opzioni che definiscono l'influenza dei pesi propri nella CCE. Ai pesi propri non viene mai associato il moltiplicatore dei carichi verticali (che per suo stesso significato fisico sarà applicato a carichi di natura variabile, non a permanenti), ma viene invece sempre associato il moltiplicatore dei carichi orizzontali (trattandosi di masse permanenti). Più in dettaglio:

P.p. volta = peso proprio della muratura costituente la volta (o arco);

P.p. rinf.sx, P.p. rinf.dx = peso proprio dei rinfianchi, determinato dal loro peso specifico (inserito nella scheda Contorno), considerando che i rinfianchi si svilupperanno, in profondità, nello stesso modo dell'arco e quindi con il valore di profondità in input nella scheda Volta. La **distanza dalla linea di chiave** rappresenta, per i rinfianchi (o riempimenti), la quota della superficie orizzontale superiore, misurata a partire dalla linea di chiave. Questo dato è pari a 0 per rinfianchi che terminano sulla sommità dell'arco. Nel corso di lavori di ristrutturazione, può capitare che i riempimenti debbano essere rimossi, anche se temporaneamente: la configurazione statica che può crearsi, se l'arco non è adeguatamente puntellato, deve essere esaminata con attenzione in quanto il carico verticale generalmente svolge ruolo benefico sulla compressione dell'arco, contribuendo a generare il mutuo contrasto tra i conci; pertanto, la sua diminuzione, specie nel caso di volte sottili, potrebbe instabilizzare la struttura;

P.p. sottof., P.p. pav. = peso proprio della struttura sovrastante, determinato dal suo peso specifico (inserito nella scheda Contorno) e dal suo spessore nella direzione del piano della struttura; la profondità della struttura sovrastante (spessore in direzione ortogonale al piano della struttura) è automaticamente considerata pari alla profondità dell'arco sottostante (situazioni diverse, come strutture sovrastanti aventi spessore in profondità diverso dall'arco - p.es. un muro impostato su una volta più ampia - possono essere descritte con i carichi lineari o di superficie).

Le azioni nei conci determinate dai pesi propri possono essere visualizzate attraverso i pulsanti grafici:  (rispettivamente relativi ai pesi propri di: Volta, Rin fianchi, Sottofondo, Pavimentazione) della barra degli strumenti laterale destra.

Carichi di superficie, Carichi lineari, Carichi concentrati, Car. aggiuntivi sui piedritti = carichi specificati in input in dettaglio, articolati in: carichi di superficie, lineari e concentrati. Sono tutti carichi verticali che insistono sull'estradosso della struttura voltata, e più esattamente alla quota Z dell'estradosso della pavimentazione. Per ognuno di tali carichi, è possibile specificare se eseguire la diffusione a 45° nello spessore sovrastante la linea di chiave (spessore determinato da sottofondo e/o pavimentazione). In tal caso, se tale spessore è >0, il carico da diffondere, di qualunque tipo sia, genera un'area di carico (diventando di fatto un carico di superficie), poiché la diffusione a 45° opera in tutte le direzioni. Per ognuno dei carichi è possibile inoltre specificare se è affetto da moltiplicatore verticale e/o da moltiplicatore orizzontale.

 **Attenzione** Il **Moltiplicatore verticale (Molt. vert.)** interessa tutti i carichi che si ritiene possano crescere proporzionalmente: con l'analisi al collasso sarà così possibile indagare il massimo valore dell'amplificazione consentita per tale carico. Questo parametro viene quindi attivato quando si voglia studiare il massimo carico sostenibile. E' possibile che l'analisi evidenzi un moltiplicatore verticale nullo: ciò significa che l'eliminazione completa del carico affetto da molt.vert. instabilizza l'arco, arco che magari risulta stabile sotto il valore non nullo che tale carico assume nella configurazione statica. Questo risultato, apparentemente anomalo, è invece correttamente corrispondente alle condizioni di stabilità dell'arco, negativamente influenzate da bassi carichi verticali (ovviamente queste considerazioni valgono in relazione agli altri carichi applicati, e quindi ogni caso deve essere oggetto di studio specifico).

Il **Moltiplicatore orizzontale (Molt. orizz.)** interessa i carichi verticali da tradurre in forze sismiche. Pertanto, tutti i carichi corrispondenti a masse dovrebbero essere affetti da moltiplicatore orizzontale, per rappresentare la forza d'inerzia corrispondente all'azione sismica. ■

Facendo clic su una qualunque cella dei Carichi di superficie, lineari, concentrati o aggiuntivi sui piedritti, si apre la finestra che permette l'inserimento dei dati.

CARICHI DI SUPERFICIE

I carichi di superficie sono definiti dai parametri: **DimX, DimY, X, Y, q, Diff. a 45°, Molt. vert., Molt. orizz.**

DimX, DimY = dimensioni dell'area rettangolare di carico;

X, Y = coordinate in pianta del vertice inferiore sinistro dell'area di carico (t.c. il baricentro di carico è posto a: $(X+DimX/2), (Y+DimY/2)$);

q (kgf/m² - kN/m²) = carico verticale di superficie.

Nell'esempio, il carico di superficie è stato definito con diffusione a 45° entro lo spessore delle strutture sovrastanti l'arco: pertanto, l'originario valore di 8.00 kN/m² diventa 6.86 kN/m² e conseguentemente genera i corrispondenti carichi sui conci indicati in figura

La diffusione avviene entro lo spessore della pavimentazione e del sottofondo

Pulsante grafico per disegnare i carichi di superficie

Il rettangolo maggiore (contorno grigio) indica le dimensioni dell'area di carico dopo la diffusione a 45°. La parte eventualmente eccedente la pianta dell'arco non viene considerata ai fini del calcolo della correzione del carico per ottenere il valore agente sull'arco

N°	Commento	Psi,2 (quasi perm)	P.p. volta	P.p. rinf.sx	P.p. rinf.dx	P.p. sottof.	P.p. pavim.	Carichi di superficie
1	Condizione di Carico n° 1	1.00	<input checked="" type="checkbox"/>					

N°	Dim.X (cm)	Dim.Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	q (kN/m ²)	Diff. a 45°	Molt. vert.	Molt. orizz.
1	300	100	100	0	8.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fig. 5.1.2. Carichi di superficie

CARICHI LINEARI

I carichi lineari sono definiti dai parametri: **Lungo X, Dim, X, Y, q, Diff. a 45°, Molt. vert., Molt. orizz.**

Lungo X = orientamento del carico, secondo X se affermativo, secondo Y altrimenti;

Dim = lunghezza della linea di carico;

X,Y = coordinate in pianta del vertice sinistro del carico (t.c. il baricentro è posto a: $(X+Dim/2), Y$ per carichi secondo X; $X, (Y+Dim/2)$ per carichi secondo Y);

q (kgf/m - kN/m) = carico verticale lineare uniformemente distribuito.

The screenshot displays the SAV software interface for defining linear loads on a circular arch. It features three main graphical windows and a data table.

- Finestra Grafica (1):** A 3D perspective view of the arch with a load diagram. The load is represented by a series of vertical arrows of varying heights along the arch's profile. Annotations explain that the lower part of the diagram represents the thickness of the overlying structure (pavimentazione e sottofondo) and that the diagram also shows the actions produced on the arch.
- Finestra Grafica (2):** A 2D plan view showing the trace of the linear load on the arch's base. A red circle highlights a button for designing linear loads.
- Finestra Grafica (3):** A detailed view of the load diagram with numerical values for the load intensity at various points along the arch.
- Data Table:** A table titled "CCE 1: Carichi lineari (1)" with the following data:

N°	Commento	P.sil.2 (quasi perm.)	P.p. volta	P.p. rinf. sx	P.p. rinf. dx	P.p. sottot.	P.p. pavim.	Carichi di superficie	Carichi lineari	N°	Lungo X	Dim. (cm)	X (cm)	Y (cm)	q (kN/m)	Diff. a 45°	Molt. vert.	Molt. orizz.
1	Condizione di Carico n° 1	1,00	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	750	-50	50	8,00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						

Additional annotations include: "Il carico lineare viene rappresentato dal diagramma: [diagramma]", "CCE corrente di cui si rappresentano i carichi. Per cambiare CCE: [pulsante]", "Questa schermata si è ottenuta utilizzando le due finestre grafiche e la finestra Galleria per questa immagine", and "Facendo clic sul pulsante 'Carichi lineari' della finestra CCE si apre la finestra Carichi dove si specificano i carichi stessi".

Fig. 5.1.3. Carichi lineari

CARICHI CONCENTRATI

Carichi concentrati: X, Y, P, Diff. a 45°, Molt. vert., Molt. orizz.

X, Y = coordinate in pianta del punto di applicazione del carico;
P (kgf - kN) = carico verticale concentrato.

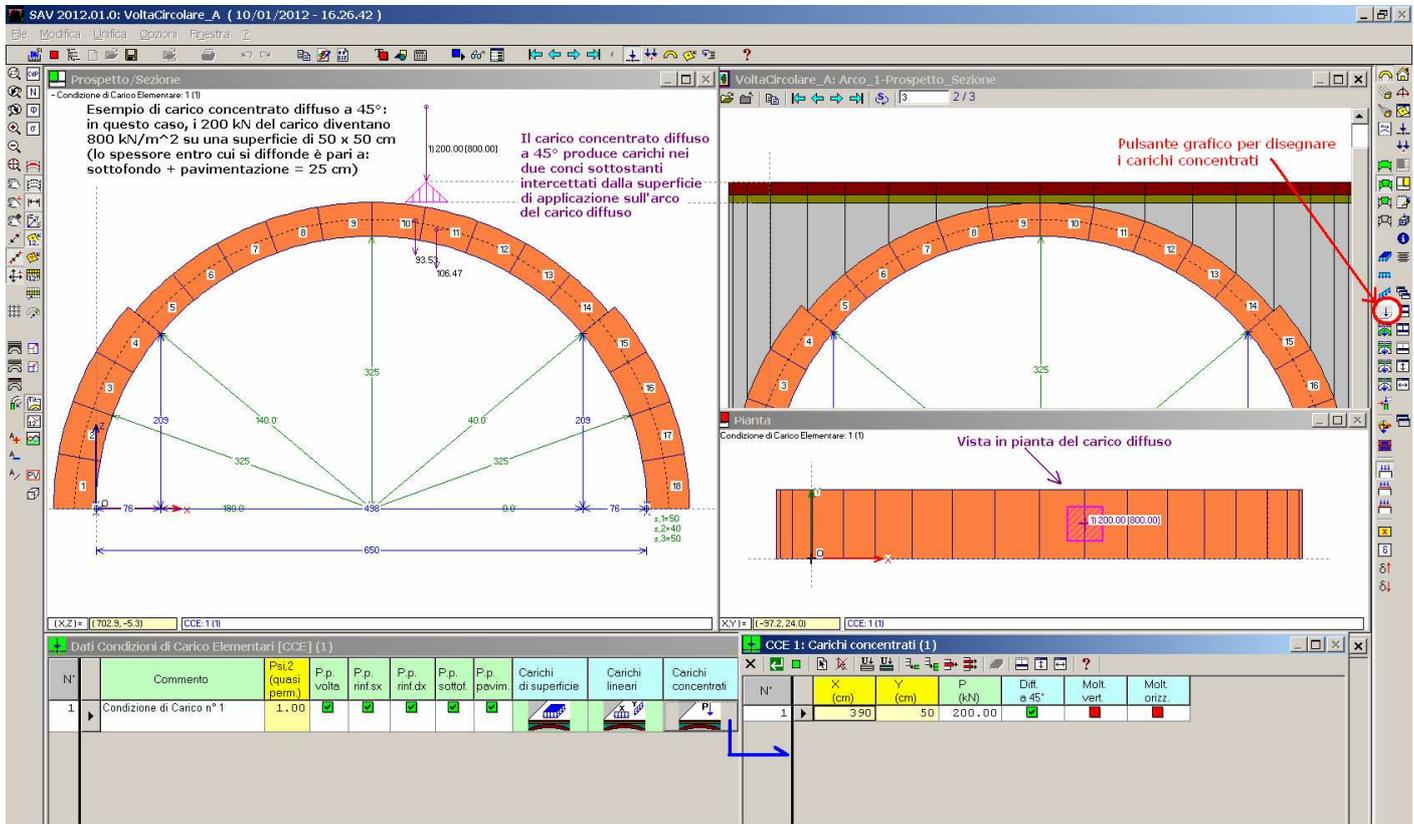


Fig. 5.1.4. Carichi concentrati

CARICHI AGGIUNTIVI SUI PIEDRITTI

Carichi aggiuntivi sui piedritti: azioni concentrate (verticali e/o orizzontali) derivanti ad esempio da strutture sovrastanti o da spinte di strutture a volta adiacenti a quella esaminata; il punto di applicazione è posto ad una quota misurata rispetto alla sommità del piedritto e positiva verso il basso (quindi Quota=0 per le azioni sulla sezione di sommità), ossia controversa all'asse di riferimento globale Z.

Pied.sx, Fx, Fz, Ex, Ey, Quota, Stat., Sism.+X, Sism.-X

Pied.sx = piedritto sinistro se affermativo, piedritto destro altrimenti;

Fx, Fz (kgf o kN) sono le due componenti (+/-) del carico aggiuntivo sul piedritto:

Fx = componente orizzontale (secondo X), nel piano della struttura voltata, positiva se agente verso l'interno della struttura voltata;

Fz = componente verticale (secondo Z), positiva se agente verso il basso;

Ex, Ey = eccentricità (+/-) del punto di applicazione del carico aggiuntivo. **Ex** è la distanza dall'intradosso dell'arco, positiva verso l'interno della struttura voltata; **Ey** è la distanza dall'asse X (in pianta, l'asse X è posto nel piano d'imposta del fronte anteriore della struttura voltata, ossia, in altri termini, in basso, nella pianta, all'inizio della struttura);

Quota = quota (+/-) del punto di applicazione del carico rispetto alla sommità del piedritto, positiva verso il basso (controversa all'asse Z);

Stat., Sism.+X, Sism.-X = opzioni che indicano se il carico aggiuntivo deve essere considerato nell'analisi statica o nelle analisi sismiche secondo X, rispettivamente nel verso positivo (+X) e negativo (-X).

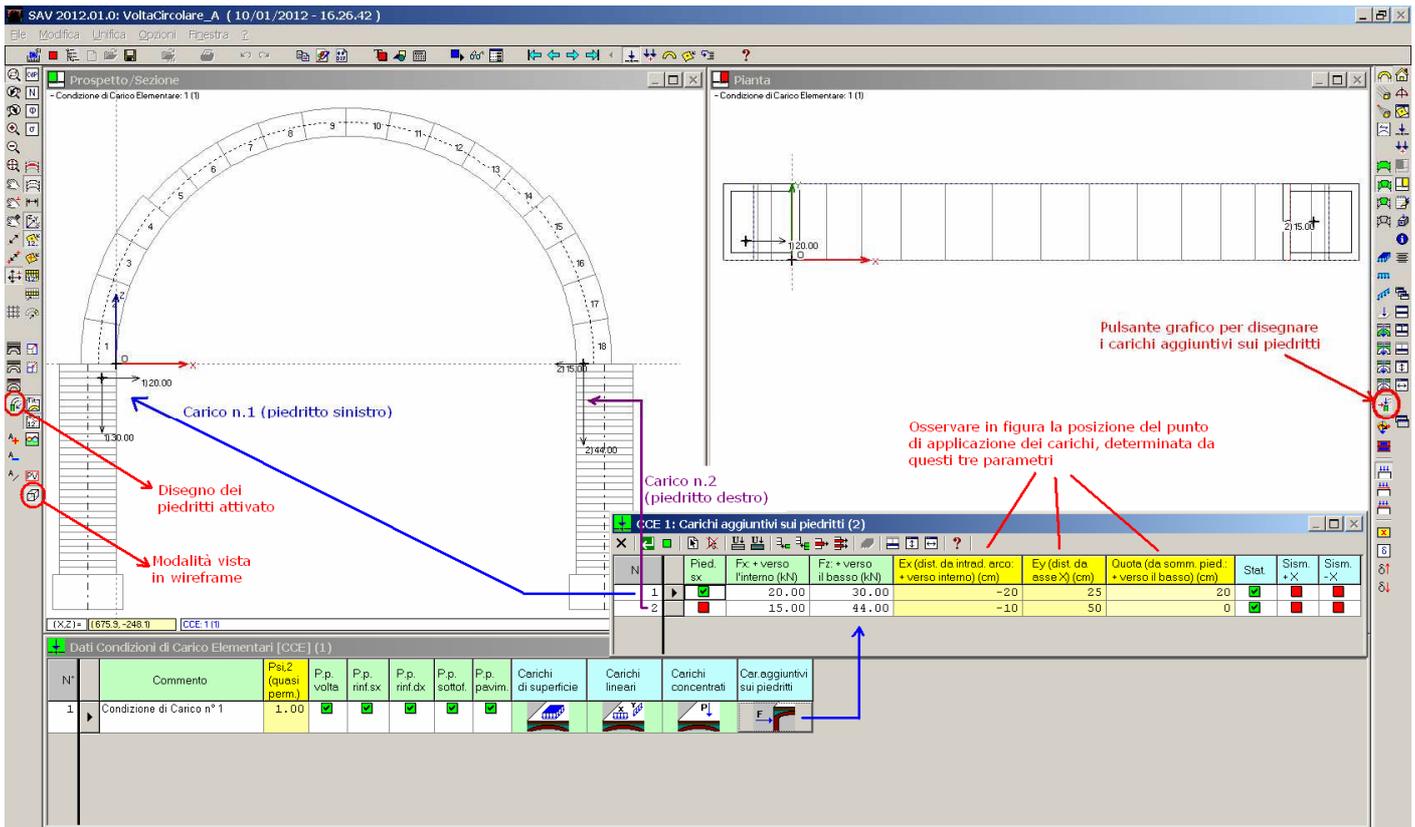


Fig. 5.1.5. Carichi aggiuntivi sui piedritti

Attenzione Osservazioni complementari sui moltiplicatori.

Come già illustrato, affinché un carico sia considerato variabile col moltiplicatore verticale, occorre che il check relativo al moltiplicatore sia attivo. In una data CCC, **il moltiplicatore verticale è unico per tutti i carichi affetti da Molt.vert.**: in altre parole, non si analizza in una data CCC carichi crescenti con moltiplicatori tra loro indipendenti.

In analisi sismica, si devono considerare agenti i carichi verticali che hanno il significato di masse: necessariamente, quindi, i pesi propri, più i carichi definiti che abbiano attivato il moltiplicatore orizzontale. **Generalmente i pesi propri vengono fatti appartenere alla CCE 1, e non sono ovviamente ripetuti in altre CCE**, in modo che nelle CCC non si creino somme che potrebbero far considerare agenti assieme più volte i pesi: compreso il significato di CCE e CCC, spetta all'Utente curare la corretta definizione delle combinazioni di carico.

Questo sistema consente lo studio contemporaneo di più situazioni di carico (carichi a scacchiera, variamente disposti, ecc.) anche in alternativa tra loro (CCE alternative non compariranno ovviamente assieme in medesime CCC).

Il coefficiente ψ_2 (Psi,2) riportato nelle tabelle delle CCE moltiplica le CCE per la formazione delle CCC. I valori di ψ_2 sono riportati in §2.5.3, Tab.2.5.I; per i carichi permanenti, si deve assumere $\psi_2=1$.

Nelle analisi statiche (non sismiche), i valori dei coefficienti ψ_2 sono ininfluenti. ■

5.1.1. Menu MODIFICA



Fig. 5.1.6. Menu Modifica della finestra CCE

Aggiungi = è possibile aggiungere una o più CCE, che verranno posizionate dopo le CCE già presenti, in fondo all'elenco della tabella.

Condizione di Carico: Pesi propri = definisce una CCE dedicata ai Pesi Propri, aggiungendola alle CCE già presenti. Il comando è superfluo se è già presente una CCE con i pesi propri, eccetto i casi in cui si vogliono valutare gli effetti dei pesi propri delle varie componenti (volta, rinfianchi, sottofondo, pavimentazione) in modo indipendente l'uno dall'altro attraverso la definizione di corrispondenti singole CCE e la successiva opportuna definizione delle CCC.

Copia = pone in memoria la CCE corrente con tutti i propri carichi.

Incolla = rende la CCE corrente uguale alla CCE in memoria; il comando Incolla viene ovviamente eseguito dopo il comando Copia.

 **Suggerimento** I comandi Copia e Incolla sono molto utili per CCE a cui corrispondono carichi differenti (p.es. permanenti ad una, e variabili all'altra) ma che geometricamente sono definiti nello stesso modo. In tal caso, conviene mettere a punto una delle due CCE, p.es.: la prima, quella sui carichi permanenti (p.es. con Commento: Carichi Permanenti); poi specificare il Commento della seconda (p.es. Carichi variabili); quindi, impostare tutti i carichi della seconda a partire dalla prima (utilizzando i comandi Copia e Incolla); infine, modificare se necessario il valore dei carichi. ■

Azzerà Condizione di Carico = annulla i carichi della CCE corrente.

Elimina = elimina una o più CCE.

5.1.2. Menu UNIFICA

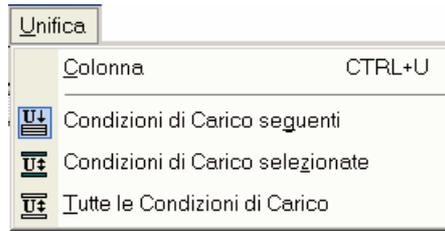


Fig. 5.1.7. Menu Unifica della finestra CCE

Il menu Unifica consente l'**unificazione** del parametro (della **colonna corrente**) delle CCE seguenti, delle CCE selezionate o di tutte le CCE (in base al corrispondente check attivato) **al parametro della CCE corrente**.

5.2. FINESTRA CONCI

Per ogni Arco Ideale, i dati sui Carichi nei Conci si riferiscono alle forze generate dalle varie CCE nei conci. Queste forze vengono tra loro combinate secondo i coefficienti delle Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari, al fine di determinare le azioni di calcolo dei conci, utilizzate direttamente nel procedimento risolutivo dell'analisi strutturale. **I carichi nei conci non sono dati in input diretto**, ma derivano dai dati sulla struttura voltata e sulle CCE. Insieme ai carichi, vengono anche riportate le coordinate del baricentro dei conci nel sistema di riferimento assoluto XZ.

Per ogni carico, il parametro Dx indica l'eccentricità della retta d'azione verticale del carico rispetto al baricentro del concio. Dx è positiva se la retta d'azione del carico si trova a destra rispetto al baricentro (ossia è definita da un'ascissa positiva). Nel caso di P.p., peso proprio della Volta, il carico, per sua stessa natura, è applicato nel baricentro del concio e quindi ha eccentricità nulla.

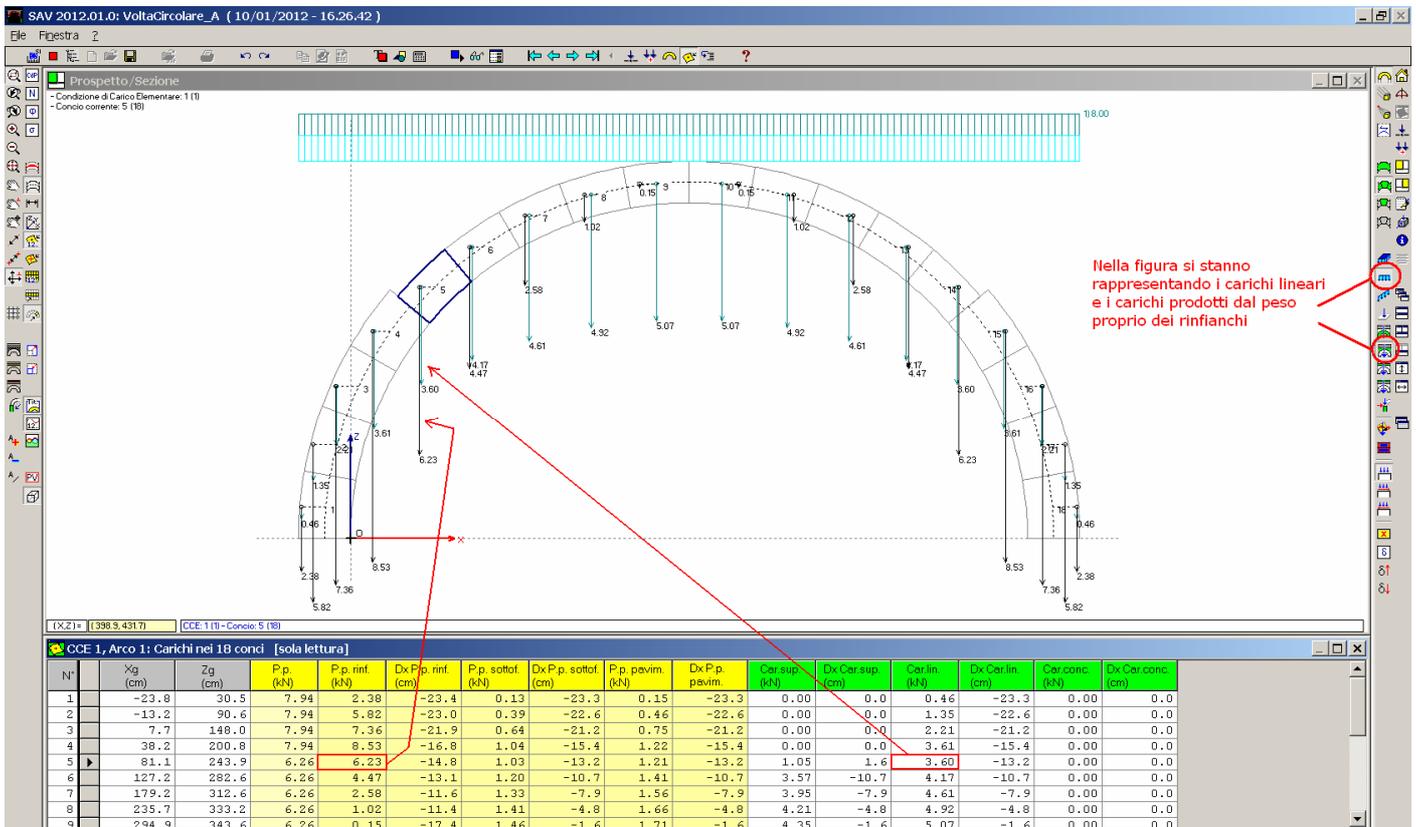


Fig. 5.2.1. Finestra Conci

In dettaglio, i dati (in sola lettura) sono i seguenti:

Xg, Zg = coordinate del baricentro del concio nel sistema di riferimento assoluto XY. Questi dati non sono

modificabili.

P.p. = Carico sul concio determinato dal peso proprio dell'arco (ossia del concio stesso). Per sua stessa natura, questo carico ha eccentricità nulla in quanto il peso proprio è applicato nel baricentro.

Pp. rinf. = Carico sul concio determinato dal peso proprio del rinfianco (o riempimento).

Dx Pp. rinf. = Eccentricità della retta d'azione verticale di 'Pr' rispetto al baricentro del concio. Come per ogni altra eccentricità misurata lungo l'orizzontale, Dx è positiva se la retta d'azione del carico si trova a destra rispetto al baricentro (ossia è definita da un'ascissa positiva).

Pp. sottof., Dx Pp. sottof. = Carico e posizione dovuti al sottofondo (analogo al rinfianco)

Pp. pavim., Dx Pp. pavim. = Carico e posizione dovuti alla pavimentazione sottofondo (analogo al rinfianco)

Car.sup. = Carico sul concio determinato dai Carichi di superficie;

Dx Car.sup. = **posizione del carico dovuto ai Carichi di superficie;**

Car.lin., Dx Car.lin. = Carico e posizione dovuti ai Carichi lineari;

Car.conc., Dx Car.conc. = Carico e posizione dovuti ai Carichi concentrati.

 **Importante!** Un carico concentrato agente direttamente su un concio in intradosso, come ad esempio nel caso di un lampadario appeso alla volta, deve essere specificato come Carico concentrato nell'ambito di una opportuna CCE posto in corrispondenza del concio interessato, senza diffusione a 45°, in modo che il carico gravi direttamente proprio su tale concio. ■

5.3. FINESTRA COMBINAZIONI DI CONDIZIONI DI CARICO (CCC)

L'**Analisi Statica** viene eseguita per tutte le CCC (Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari) specificate. Le CCC vengono composte a partire dalla CCE applicando corrispondenti moltiplicatori.

E' così possibile studiare tutte le combinazioni di carico desiderate, costruite a partire dalle CCE.

Se richiesto nei Parametri di Calcolo, per ogni CCC contenente carichi affetti da moltiplicatore verticale, si calcherà il moltiplicatore di collasso verticale.

 **Importante!** In accordo con la Normativa vigente (§2.5.3), **i coefficienti di combinazione delle CCC possono coincidere con i coefficienti parziali per le azioni γ_G e γ_Q** . Ciò presuppone che le CCE siano state distinte per i diversi contributi di carico: permanenti e variabili. Normalmente i permanenti vengono conglobati in un'unica CCE, che contiene quindi pesi propri e carichi permanenti non strutturali.

Con riferimento agli **stati limite ultimi di tipo STR**, possono essere utilizzati i seguenti coefficienti:

- per i carichi permanenti (tutti): $\gamma_G=1.0$ se favorevoli, $\gamma_G=1.3$ se sfavorevoli; in generale, nei confronti delle strutture voltate i carichi permanenti, normalmente distribuiti su tutta la luce, svolgono ruolo favorevole, e quindi si adotta direttamente il valore 1.0;

- per i carichi variabili: $\gamma_Q=0.0$ se favorevoli (come avviene in genere nel caso di carichi distribuiti sull'intera luce dell'arco); $\gamma_Q=1.5$ se sfavorevoli (ad esempio nel caso di distribuzioni uniformi parzialmente agenti sulla luce dell'arco oppure nel caso di carichi concentrati). Una possibile scelta riguarda la definizione di due CCC distinte, una con $\gamma_Q=0.0$ e l'altra con $\gamma_Q=1.5$. Nel caso dei ponti in muratura (§C5), $\gamma_Q=1.5$ viene corretto in: $\gamma_Q=1.35$ per le azioni da traffico stradale e in: $\gamma_Q=1.45$ per le azioni da traffico ferroviario. ■

Indipendentemente dal numero di CCC definite a fini statici, l'**Analisi Sismica**, in accordo con §3.2.4, viene eseguita per 1 sola combinazione, considerando agenti:

a) i carichi verticali corrispondenti a tutte le CCE affetti dai valori ψ_2 corrispondenti, e che abbiano specificato il Molt. orizz. (essi corrispondono a masse);

b) i carichi orizzontali corrispondenti al moltiplicatore orizzontale in input, applicato a tutti i carichi di cui al punto a). In pratica, con i carichi di cui al punto a) si calcolano tutte le azioni verticali nei concii; ognuna di queste azioni viene poi moltiplicata per il moltiplicatore orizzontale in input, per ottenere la corrispondente azione sismica (agente in direzione orizzontale X). Il valore del moltiplicatore orizzontale in input viene specificato nei Parametri di Calcolo.

L'Analisi Sismica prevede sempre la determinazione del moltiplicatore di collasso, ottenuto facendo crescere progressivamente il moltiplicatore orizzontale sino a raggiungere la configurazione di collasso.

Il moltiplicatore di collasso per carichi orizzontali consente lo svolgimento della verifica di sicurezza in analisi cinematica così come previsto da §C8A.4 (cfr. il paragrafo 6.3.4).

 **Nota bene** Per quanto riguarda i risultati complessivi di una struttura voltata genericamente composta da più archi ideali, il moltiplicatore di collasso, sia per carichi verticali, sia per carichi orizzontali, viene sempre determinato con riferimento alla Volta, come minimo valore fra tutti i moltiplicatori determinati per gli archi ideali costituenti la Volta (per la Sismica viene considerato il minimo valore fra Sismica +X e Sismica -X). ■

5. Gestione dei Carichi

Dati Condizioni di Carico Elementari [CCE] (4)

N°	Commento	Psi,2 (quasi perm)	P.p. volta	P.p. rinf. sx	P.p. rinf. dx	P.p. sottot.	P.p. pavim.	Carichi di superficie	Carichi lineari	Carichi concentrati	Car. aggiuntivi sui piedritti
1	Pesi propri strutture	1.00	<input checked="" type="checkbox"/>								
2	Carico distribuito da soletta in c.a. (non ha multipl.veri.)	1.00	<input type="checkbox"/>								
3	Carico distribuito da Q1k	1.00	<input type="checkbox"/>								
4	Carico distribuito q1k	1.00	<input type="checkbox"/>								

Dati Combinazioni delle Condizioni di Carico [CCC] (2)

N°	Commento	Molt.CCE n°1	Molt.CCE n°2	Molt.CCE n°3	Molt.CCE n°4
1	Tutti i carichi	1.00	1.00	1.00	1.00
2	Pesi strutturali e Carichi concentrati (escluso quindi i carichi distribuiti)	1.00	1.00	1.00	0.00

Fig. 5.3.1. Finestra CCC

In fig. 5.3.1 è riportato l'esempio di un ponte in muratura, sottoposto a carichi di progetto. In particolare, sono stati considerati carichi distribuiti (definiti nella CCE 4) che possono essere o meno applicati contemporaneamente agli altri carichi. Ciò ha condotto alla definizione di due opportune CCC.

6. ESECUZIONE DI ANALISI E VERIFICHE DI SICUREZZA

6.1. MODELLO DI CALCOLO

La metodologia di calcolo è stata sviluppata dal Dipartimento di Costruzioni dell'Università degli Studi di Firenze, Facoltà di Architettura, autori: Prof. Arch. Michele Paradiso e Prof. Arch. Giacomo Tempesta, e si fonda sugli studi di Heyman, in accordo con i più avanzati studi del settore e supportata da indagini sperimentali condotte in ambito universitario. Una descrizione dettagliata è riportata nella documentazione associata al software SAV e nel volume 'Sistemi Voltati in Muratura' (DEI Tipografia del Genio Civile, Roma, 2007); qui di seguito enunciamo i concetti fondamentali, riferiti all'arco in sola muratura (non rinforzato).

Si considera un arco incastrato, costituito da 'n' conci e da 'm' = 'n+1' interfacce, su ciascuna delle quali agiscono le azioni interne N (sforzo normale), M (momento flettente) e T (taglio), per effetto del sistema di carichi applicati (peso proprio, altre azioni esterne). L'arco viene discretizzato, numerando i conci e le interfacce progressivamente da sinistra a destra.

I conci costituiscono gli 'elementi finiti' del modello; l'interfaccia consente la trasmissione degli sforzi da un concio a quello adiacente. Si può fare riferimento ai conci reali, separati da interfacce costituite dai giunti di malta; ma più in generale facciamo riferimento ad una suddivisione matematica dell'arco non necessariamente coincidente con i conci reali (i metodi numerici garantiranno comunque la validità del calcolo): questo permette di usare un numero di elementi finiti non eccessivo anche per archi di grandi dimensioni.

Il problema statico è retto dalla seguente formulazione:

$$(1) \quad AN + BM + CT = F$$

(dove A, B, C sono le matrici di configurazione geometrica relative rispettivamente ai vettori incogniti N, M e T, e F è il vettore dei carichi assegnati)

sotto le condizioni:

$$(2) \quad N_i \leq 0$$

e

$$(3) \quad \begin{aligned} N_i h_i - M_i &\geq 0 \\ N_i h_i + M_i &\geq 0 \end{aligned}$$

dove $2h_i$ è l'altezza del concio i-esimo.

Le incognite sono le $3m = 3(n+1) = 3n+3$ caratteristiche di sollecitazione agenti nelle interfacce, mentre le equazioni (1) sono pari al numero dei conci: $3n$.

Il sistema lineare (1) presenta quindi un numero di equazioni insufficienti: ciò è ovvio, dato il grado di indeterminazione del problema, pari a 3 incognite iperstatiche.

Le disequazioni (2) traducono la circostanza che l'interfaccia può trasmettere solo forza normale di compressione, mentre le (3) traducono il fatto che il poligono funicolare deve essere contenuto entro la sagoma dell'arco.

Le infinite soluzioni del sistema (1) possono quindi essere ridotte dalle condizioni (2) e (3).

Può anche accadere che non esista una soluzione che soddisfa contemporaneamente le equazioni e le disequazioni: in tal caso, la struttura non può essere in equilibrio sotto l'assegnata condizione di carico, ossia non esiste un poligono funicolare interno alla sagoma dell'arco in equilibrio con i carichi esterni: l'arco è instabile.

Per la soluzione del problema, viene utilizzata la tecnica della 'matrice inversa generalizzata'.

Prima di illustrare il procedimento numerico, si reimposta il problema in maniera più vantaggiosa, ridefinendo il vincolo di connessione fra le facce di due conci generici attraverso tre bielle delle quali una tangente e le altre due con direzione ortogonale all'interfaccia rispettivamente nei punti di intradosso e di estradosso.

In tal modo, l'arco risulta costituito da blocchi rigidi connessi da tre bielle ideali unilateri, cioè in grado di trasmettere solo sforzi di compressione, a comportamento rigido-fessurante.

Indicando con:

X_{1i} = sforzo nell'interfaccia 'i' nella biella di estradosso;

X_{2i} = sforzo nella biella di intradosso;

X_{3i} = sforzo nella biella tangente,

ed isolando il concio i-esimo, le tre equazioni di equilibrio del concio i-esimo (interessato dalle interfacce i e i+1) divengono:

$$(4) \quad \begin{aligned} X_{1,i} \cos\alpha + X_{2,i} \cos\alpha + X_{3,i} \sin\alpha - X_{1,i+1} \cos\beta - X_{2,i+1} \cos\beta - X_{3,i+1} \sin\beta + F_{1,i} &= 0 \\ X_{1,i} \sin\alpha + X_{2,i} \sin\alpha - X_{3,i} \cos\alpha - X_{1,i+1} \sin\beta - X_{2,i+1} \sin\beta + X_{3,i+1} \cos\beta + F_{2,i} &= 0 \\ -X_{1,i} d_{1,i} + X_{2,i} d_{2,i} + X_{3,i} d_{3,i} + X_{1,i+1} d_{1,i+1} - X_{2,i+1} d_{2,i+1} + X_{3,i+1} d_{3,i+1} + F_{3,i} &= 0 \end{aligned}$$

dove:

X_i = azioni interne incognite (sforzi nelle bielle), pari a $3m$ (3 bielle per ognuna delle 'm' interfacce);

per quanto riguarda la convenzione sui segni: per le bielle normali $X > 0$ se di compressione; per la biella tangente $X > 0$ se corrisponde ad un abbassamento del semiarco di sinistra rispetto a quello di destra (convenzione opposta a quanto usualmente adottato per lo sforzo di taglio);

F_{1i}, F_{2i}, F_{3i} = carichi esterni agenti sul concio (termini noti);

$d_{j,i}$ = distanza della direzione j (asse della biella) dal baricentro G_i del concio.

Il sistema lineare (4) può essere riscritto nella forma:

$$(5) \quad A X + F = 0$$

dove:

$$(6) \quad A = \begin{vmatrix} \cos\alpha & \cos\alpha & \sin\alpha & -\cos\beta & -\cos\beta & -\sin\beta \\ \sin\alpha & \sin\alpha & -\cos\alpha & -\sin\beta & -\sin\beta & \cos\beta \\ -d_{1,i} & d_{2,i} & d_{3,i} & d_{1,i+1} & -d_{2,i+1} & d_{3,i+1} \end{vmatrix} \in \mathbb{R}^{3 \times 6}$$

$$X = \begin{vmatrix} X_{1,i} \\ X_{2,i} \\ X_{3,i} \\ X_{1,i+1} \\ X_{2,i+1} \\ X_{3,i+1} \end{vmatrix} \in \mathbb{R}^{6 \times 1} (\mathbb{R}^6)$$

$$F = \begin{vmatrix} F_{1,i} \\ F_{2,i} \\ F_{3,i} \end{vmatrix} \in \mathbb{R}^{3 \times 1} (\mathbb{R}^3)$$

essendo:

A = matrice di assetto (o di configurazione geometrica, detta anche: matrice di equilibrio);

X = vettore incognito degli sforzi nelle bielle;

F = vettore dei termini noti (carichi assegnati);

$\mathbb{R}^{n \times m}$ è l'insieme delle matrici reali aventi n righe e m colonne.

Le espressioni matriciali (6) si riferiscono al concio i-esimo. Il sistema completo della struttura globale (l'arco costituito da tutti i conci) viene costruito per assemblaggio dei singoli conci, cioè dei gruppi di 3 equazioni.

Eseguito l'assemblaggio, risulta: $A \in \mathbb{R}^{3n \times 3m}$, $X \in \mathbb{R}^{3m \times 1} (\mathbb{R}^{3m})$, $F \in \mathbb{R}^{3n \times 1} (\mathbb{R}^{3n})$.

La (5) può anche essere scritta nella forma:

$$(7) \quad AX = F$$

adottando per i termini noti la convenzione sui segni opposta (in modo, dunque, che il carico verticale $F_{2,i}$ sia positivo se rivolto verso il basso, come ad esempio il peso proprio).

Poniamo, per semplicità:

$$3n \rightarrow n$$

$$3m \rightarrow m$$

e quindi:

$$A \in \mathbb{R}^{n \times m}, X \in \mathbb{R}^m, F \in \mathbb{R}^n.$$

Il sistema lineare è perciò 'rettangolare', cioè costituito da 'n' equazioni in 'm' incognite con $n \neq m$, e più precisamente: $n < m$ (per l'esattezza: $n = m-3$).

Il rango di A vale 'n', cioè le righe del sistema sono linearmente indipendenti tra loro ($\det A \neq 0$).

Se i vincoli fossero tutti bilateri, cioè le bielle 1 e 2 (fig. 16) fossero in grado di trasmettere sforzi di trazione e di compressione, il sistema presenterebbe ∞^{m-n} ($=\infty^3$) soluzioni tutte equilibrate (azioni interne in equilibrio con i carichi esterni).

Ma l'unilateralità dei vincoli (le bielle 1 e 2 possono reagire solo a compressione) impone la ricerca dell'insieme di soluzioni che soddisfano le equazioni di equilibrio (7) nel rispetto delle condizioni di segno:

$$(8) \quad X_{1,i} \geq 0, X_{2,i} \geq 0$$

Nel procedimento numerico, si ricerca anzitutto (utilizzando il metodo dell'inversa generalizzata) l'espressione generale delle ∞^{m-n} soluzioni del sistema rettangolare avente un numero di equazioni inferiore al numero delle incognite; in seguito, vengono introdotte le condizioni di segno per identificare le soluzioni realmente accettabili (cioè aventi significato fisico) per il problema in esame.

L'espressione generale detta ha la forma:

$$(9) \quad X = X_0 + C M, \quad \forall M \in \mathbb{R}^m$$

dove la matrice C è definita da:

$$(10) \quad C = I - A^T (A A^T)^{-1} A, \quad C \in \mathbb{R}^{m \times m}$$

essendo I la matrice identità di ordine m

Nella (9) è presente l'arbitrarietà del vettore M. Dato che il sistema rettangolare (7) corrispondente al problema fisico esaminato presenta condizioni di segno, l'arbitrarietà di M può essere utilizzata per soddisfare le disequazioni (8). Il vettore M viene definito attraverso un procedimento iterativo, il cui scopo, ad ogni passo, è quello di annullare una componente di trazione, inaccettabile nella muratura.

E' quindi consentito un numero di passi preciso: essi al massimo possono essere 4 (passo iniziale + 3 iterazioni). Al passo 4, infatti, le componenti compensate sono 3, e corrispondono all'annullamento di tre sforzi normali in tre bielle.

Poiché l'annullamento dello sforzo in una biella corrisponde alla formazione di una cerniera all'intradosso o all'estradosso (a seconda, rispettivamente, che si tratti di $X_{2,i}$ o $X_{1,i}$), il numero delle cerniere non può essere maggiore di 3 perché l'arco si trasformerebbe in una struttura labile.

Generalizzando il metodo alla soluzione di strutture generiche a vincoli unilaterali, ciò significa che il numero delle iterazioni non può superare il grado di iperstaticità della struttura.

Se il procedimento è convergente, ossia ha termine all'iterazione k ($1 \leq k \leq 3$), la curva delle pressioni (ottenuta attraverso il vettore soluzione degli sforzi nelle bielle) sarà tangente, in k interfacce, all'intradosso o all'estradosso, denunciando la formazione di k cerniere e le componenti X_1 e X_2 del vettore soluzione X saranno tutte ≥ 0 . Se invece il procedimento non converge, ossia, eseguita la terza iterazione, continua a manifestarsi almeno un valore negativo tra gli sforzi nelle bielle, l'arco è instabile: non esiste quindi alcun poligono funicolare compatibile con i carichi applicati e con la sagoma dell'arco.

Per quanto riguarda l'arco rinforzato, occorre distinguere i casi di rinforzi di superficie (cappa in cls armato o nastri in FRP) da quelli di rinforzi localizzati (catene).

Nel caso dei rinforzi localizzati, la metodologia illustrata è invariata: oltre alle bielle che schematizzano le interfacce dei conci, vengono considerate tante bielle aggiuntive quante sono le catene, ognuna delle quali è unilatera a trazione, cioè non reagisce a compressione.

Nel caso dei rinforzi di superficie, SAV introduce una variante nella metodologia illustrata, consistente nella bilateralità della biella posta dalla parte del rinforzo (intradosso o estradosso), per la quale quindi diviene accettabile lo sforzo di trazione; il procedimento numerico può in tal caso eseguire tanti passi quanti sono necessari per assicurare la compressione nella muratura, dal momento che l'esistenza del rinforzo a trazione impedisce teoricamente la formazione delle cerniere di apertura.

In ogni caso, l'applicazione della metodologia di calcolo illustrata fornisce sia una risposta immediata sulla stabilità dell'arco, evidenziandone la posizione della curva delle pressioni, sia il campo di azioni interne: esse possono essere utilizzate per ulteriori verifiche strutturali.

6.2. ELABORAZIONE DI CALCOLO

L'elaborazione di calcolo viene avviata dal comando Analisi (tasto di scelta rapida: $F7$) del menu Esegui della finestra Progetto, o direttamente l'icona  della barra degli strumenti superiore.

L'analisi consiste anzitutto nella scomposizione dei carichi assegnati, per determinare le forze agenti sui vari conci dei vari archi ideali, e quindi nella ricerca della soluzione di stabilità.

Per ogni CCE, vengono esaminati i carichi definiti. Vengono determinati gli archi ideali intercettati (considerando anche l'eventuale diffusione a 45° nello spessore di sottofondo + pavimentazione), e subito dopo i conci interessati.

Le fasi progressive dell'elaborazione sono organizzate secondo i seguenti punti che applicano la procedura descritta nel paragrafo precedente (p. 6.1):

Fase 0: Dimensionamenti del problema

$N = 3 \cdot$ numero di conci della volta = numero di equazioni di equilibrio

$M = N + 3 =$ numero di incognite = numero di bielle (per ogni interfaccia: 2 ortogonali e 1 tangente)

M può aumentare a causa di eventuali catene. Per esempio, in presenza di una catena:

$$M = (N + 3) + 1$$

Fase 1: Elaborazione delle matrici

Costruzione Matrice di equilibrio A , di dimensioni $N \times M$

Costruzione della matrice $(A \cdot A^T)$, di dimensioni $N \times N$

Inversione di $(A \cdot A^T)$: calcolo di $(A \cdot A^T)^{-1}$, di dimensioni $N \times N$

Calcolo della matrice $B = A^T \cdot (A \cdot A^T)^{-1}$, di dimensioni $M \times N$

Calcolo della matrice $C = I - A^T \cdot (A \cdot A^T)^{-1} \cdot A = I - B \cdot A$, di dimensioni $M \times M$

Fase 2: Analisi della struttura, ripetutamente eseguita per tutte le CCC statiche e per le due CCC sismiche (+X e -X), e per tutti i singoli archi ideali.

Costruzione del vettore dei termini noti

Soluzione di primo tentativo. Nel caso che sia necessario il ciclo iterativo:

Svolgimento del ciclo iterativo

Ricerca sforzi di Trazione in Muratura (non consentiti)

Ricerca sforzi di Compressione nella Catena (non consentiti)

Sottovettore dei termini noti

Sottomatrice dei coefficienti delle incognite

Inversione della sottomatrice

Vettore M di compensazione

Determinazione del vettore soluzione

Determinazione del Residuo non equilibrato R.N.E.

Archiviazione risultati dell'iterazione

Risultato dell'analisi:

Procedimento convergente (Arco Stabile) o non convergente (Arco Instabile)

Fase 3: Verifica dei piedritti (se richiesta) per ogni CCC statica e sismica
(verifica eseguibile solo in caso di archi ideali tutti stabili nella CCC processata)

Fase 4: per Analisi Sismica: verifica di sicurezza con Analisi Cinematica (§C8A.4):
Calcolo della capacità in termini di PGA e di T_R e degli Indicatori di Rischio Sismico

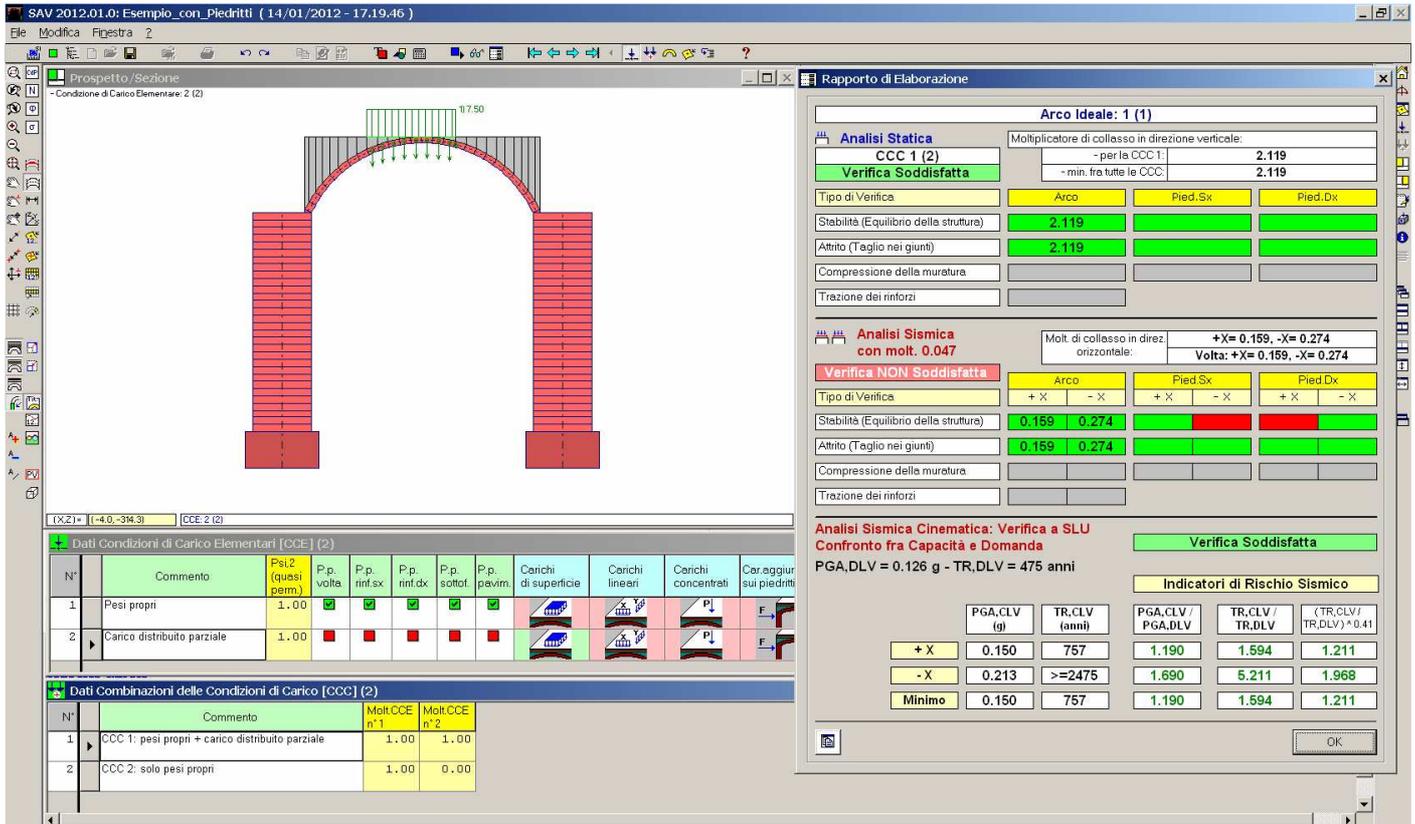
6.3. RAPPORTO DI ELABORAZIONE

L'analisi, lanciata dall'apposito comando  del menu Esegui della finestra Dati Progetto, risolve in una sola istanza tutti gli archi della volta per tutte le CCC (statiche e sismiche), ed esegue il calcolo dei moltiplicatori di collasso (se richiesto nei Parametri di Calcolo; in caso di Analisi Sismica, il moltiplicatore di collasso viene sempre calcolato).

Il report che viene visualizzato al termine del calcolo riassume sinteticamente i risultati. Esso può in ogni momento essere richiamato dal comando  (Mostra Rapporto di Elaborazione) della barra strumenti superiore. La finestra del Rapporto di Elaborazione può essere inserita direttamente in una relazione di calcolo: per copiarla in

memoria, si può usare il pulsante di comando  in basso o in alternativa la combinazione da tastiera: ALT+STAMP quando la finestra è attiva (bordo del titolo in evidenza); l'immagine della finestra può ora essere incollata nel proprio documento (ad esempio, la relazione di calcolo prodotta da SAV). Per chiudere la finestra del Rapporto di Elaborazione si possono usare indifferentemente i comandi: ESC, INVIO, clic sul pulsante OK o chiusura tramite il pulsante  della finestra.

Nelle figure 6.3.1 e 6.3.2 si esamina la finestra 'Rapporto di Elaborazione' riferita ad un esempio di volta composta da un solo arco, per il quale sono state analizzate due Combinazioni di Condizioni di Carico.



Analisi Statica

Moltiplicatore di collasso in direzione verticale:

- per la CCC 1:	2.119
- min. fra tutte le CCC:	2.119

Verifica Soddisfatta

Tipo di Verifica	Arco	Pied.Sx	Pied.Dx
Stabilità (Equilibrio della struttura)	2.119		
Attrito (Taglio nei giunti)	2.119		
Compressione della muratura			
Trazione dei rinforzi			

Analisi Sismica

Molt. di collasso in direzione orizzontale:

+X=	0.159	-X=	0.274
Volta: +X=	0.159	-X=	0.274

Verifica NON Soddisfatta

Tipo di Verifica	Arco	Pied.Sx	Pied.Dx
Stabilità (Equilibrio della struttura)	0.159	0.274	
Attrito (Taglio nei giunti)	0.159	0.274	
Compressione della muratura			
Trazione dei rinforzi			

Analisi Sismica Cinematica: Verifica a SLU
Confronto fra Capacità e Domanda
PGA,DLV = 0.126 g - TR,DLV = 475 anni

Verifica Soddisfatta

Indicatori di Rischio Sismico					
	PGA,CLV (g)	TR,CLV (anni)	PGA,CLV / PGA,DLV	TR,CLV / TR,DLV	(TR,CLV / TR,DLV) ^ 0.41
+ X	0.150	757	1.190	1.594	1.211
- X	0.213	>=2475	1.690	5.211	1.968
Minimo	0.150	757	1.190	1.594	1.211

Dati Condizioni di Carico Elementari [CCE] (2)

N°	Commento	Pst.2 (quasi perm)	P.p. volta	P.p. rinf.sx	P.p. rinf.dx	P.p. sottof.	P.p. pavim.	Carichi di superficie	Carichi lineari	Carichi concentrati	Car.aggiur sui piedritti
1	Pesi propri	1.00	<input checked="" type="checkbox"/>								
2	Carico distribuito parziale	1.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				

Dati Combinazioni delle Condizioni di Carico [CCC] (2)

N°	Commento	Molt.CCE n°1	Molt.CCE n°2
1	CCC 1: pesi propri + carico distribuito parziale	1.00	1.00
2	CCC 2: solo pesi propri	1.00	0.00

Fig. 6.3.1. Rapporto di elaborazione. Per la Statica: CCC 1 di un esempio di riferimento

Rapporto di Elaborazione

Arco Ideale: 1 (1)

Analisi Statica

Moltiplicatore di collasso in direzione verticale:

- per la CCC 2: n.d.

- min. fra tutte le CCC: 2.119

Verifica Soddisfatta

Tipo di Verifica	Arco	Pied.Sx	Pied.Dx
Stabilità (Equilibrio della struttura)	n.d.		
Attrito (Taglio nei giunti)	n.d.		
Compressione della muratura			
Trazione dei rinforzi			

Analisi Sismica con molt. 0.047

Molt. di collasso in direz. orizzontale: +X= 0.159, -X= 0.274

Volta: +X= 0.159, -X= 0.274

Verifica NON Soddisfatta

Tipo di Verifica	Arco		Pied.Sx		Pied.Dx	
	+ X	- X	+ X	- X	+ X	- X
Stabilità (Equilibrio della struttura)	0.159	0.274				
Attrito (Taglio nei giunti)	0.159	0.274				
Compressione della muratura						
Trazione dei rinforzi						

Analisi Sismica Cinematica: Verifica a SLU

Confronto fra Capacità e Domanda

PGA,DLV = 0.126 g - TR,DLV = 475 anni

Verifica Soddisfatta

Indicatori di Rischio Sismico

	PGA,CLV (g)	TR,CLV (anni)	PGA,CLV / PGA,DLV	TR,CLV / TR,DLV	(TR,CLV / TR,DLV) ^ 0.41
+ X	0.150	757	1.190	1.594	1.211
- X	0.213	>=2475	1.690	5.211	1.968
Minimo	0.150	757	1.190	1.594	1.211

OK

Fig. 6.3.2. Rapporto di elaborazione. Per la Statica: CCC 2 di un esempio di riferimento

Con riferimento alla fig. 6.3.1, nella CCC 1 si considerano gli effetti dei pesi propri e del carico distribuito 7.50 kN/m^2 agente su una parte dell'arco. Il moltiplicatore di collasso verticale si riferisce a tale carico (per predefinitone, è impossibile calcolare il moltiplicatore sui pesi propri): il valore di 2.119 indica che il carico può essere incrementato fino a $(7.50 * 2.119) \text{ kN/m}^2$ mantenendo l'arco stabile: per valori superiori, l'arco si instabilizza. L'assenza di simmetria del carico distribuito (affetto anche da moltiplicatore orizzontale) determina dal punto di vista sismico risultati differenti fra +X e -X, con due moltiplicatori orizzontali di collasso distinti. L'analisi condotta con il moltiplicatore 0.047 specificato in input ha verifica soddisfatta (arco stabile) come mostra il colore verde delle caselle dove è riportato anche il valore del moltiplicatore sismico (ovviamente, la verifica è soddisfatta in quanto il valore 0.047 è inferiore ai moltiplicatori di collasso sismici).

Al moltiplicatore di collasso 0.159 compete una verifica in analisi cinematica, riportata in basso nella finestra del Rapporto di elaborazione, soddisfatta in quanto ne deriva una capacità in termini di PGA allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV) superiore alla domanda (in altri termini, l'Indicatore di Rischio Sismico è maggiore di 1.000, in particolare vale: 1.190), risultato dipendente ovviamente dal verso più sfavorevole (il verso +X). Per quanto riguarda i piedritti, la colorazione delle corrispondenti caselle identifica la verifica soddisfatta o meno.

La fig. 6.3.2 riporta i risultati statici relativi alla CCC 2, e gli stessi risultati sismici di fig. 6.3.1 (la CCC sismica, +X e -X, è univocamente determinata a partire dalle CCE, seguendo la (3.2.16) in §3.2.4).

Per quanto riguarda il moltiplicatore di collasso verticale, il risultato **n.d.** (=non disponibile) indica che i carichi considerati nella CCC non sono affetti da moltiplicatore: infatti, si tratta dei soli pesi propri.

Se la volta analizzata avesse più di un arco ideale, sarebbe possibile visualizzare i risultati arco per arco. In caso di più archi ideali, tutti i risultati mostrati nel Rapporto di Elaborazione si riferiscono all'arco corrente, eccetto il risultato '**Minimo**' in Analisi Sismica Cinematica, calibrato su tutti gli archi ideali (e quindi identico in tutte le possibili visualizzazioni del Rapporto di Elaborazione, cambiando CCC o arco ideale); tale risultato '**Minimo**' determina di fatto la capacità della struttura e il responso definitivo complessivo sulla sua sicurezza.

Nota bene Ricordiamo che per scorrere i vari archi, o le varie CCC (con i risultati) o CCE (con i dati), o le iterazioni, o i vari conci del singolo arco, si può impostare il pulsante grafico corrispondente nella barra degli strumenti superiore, ed utilizzare le frecce associate:

attrito, compressione nella muratura, trazione nei rinforzi), per ognuno dei due versi (+X e -X) e per ogni Arco Ideale: il valore minimo fra tutti gli Archi Ideali costituisce il moltiplicatore di collasso della Volta. A partire da tale valore, viene svolta la verifica in Analisi Sismica Cinematica conformemente a §C8A.4, e descritta nel paragrafo seguente.

6.3.1.1. ANALISI CINEMATICA. INDICATORI DI RISCHIO SISMICO

Conformemente alla Normativa Italiana (D.M. 14.1.2008), nei Parametri di Calcolo, scheda Sismica (cfr. p. 3.5.1) è possibile considerare F_0, S, T_B, T_C, T_D dipendenti da a_g [§3.2.3.2.1] secondo le relazioni riportate nel testo normativo stesso. Ne consegue che $S_e(T)$ è NON lineare con a_g .

L'**Indicatore di Rischio Sismico** (IRS), consistente nel rapporto tra Capacità e Domanda, costituisce il risultato in sintesi dell'analisi sismica della struttura. Per lo stato limite di riferimento (stato limite ultimo SLV, Stato Limite di salvaguardia della Vita), esso può essere sempre espresso in termini di PGA, e, avendo condotto secondo la Normativa Italiana (si intende per strutture ubicate nel territorio italiano), anche in termini di periodo di ritorno T_R .

La capacità della struttura in termini di PGA (PGA,CLV) o di T_R (TR,CLV) indica l'accelerazione (o il corrispondente periodo di ritorno) sostenibili dalla struttura allo stato limite ultimo; la domanda in termini di PGA (PGA,DLV) o di T_R (TR,DLV) indica i dati dell'input sismico per la struttura esaminata. IRS risulta uguale al rapporto (PGA,CLV/PGA,DLV) o (TR,CLV/TR,DLV).

Per un Edificio Esistente sottoposto ad Adeguamento, l'Indicatore di Rischio Sismico deve essere ≥ 1.000 : in tal caso infatti la struttura ha il livello di sicurezza previsto dalla Norma di riferimento. Per un Edificio Esistente sottoposto ad un'analisi di vulnerabilità sismica nel suo Stato Attuale (oppure, per un edificio esistente danneggiato di cui si sta esaminando lo Stato prima dell'intervento, inteso come Stato Pre-sisma), IRS (che può essere < 1.000) caratterizza la sua capacità antisismica. E' possibile in tal caso studiare idonei interventi di miglioramento per incrementare IRS nel passaggio dallo Stato Attuale (o stato di fatto) allo Stato di Progetto.

I valori di IRS in termini di PGA e di T_R non sono uguali data la non linearità del legame fra PGA e T_R , ma in ogni caso sono contemporaneamente maggiori o minori di 1. Per gli indicatori di rischio in termini di T_R può essere richiesta (ad. es.: Regione Toscana, Istruzioni tecniche per edifici pubblici strategici e rilevanti) l'espressione con elevamento a potenza al coefficiente $a=0.41$ (derivato dall'analisi statistica delle curve di pericolosità a livello nazionale) al fine di ottenere una scala analoga a quella degli indicatori in PGA.

Per quanto riguarda PGA, può intendersi (come specificato dai parametri di calcolo) l'accelerazione al suolo comprensiva dell'effetto di suolo (fattore S). Il fattore di suolo può inoltre essere considerato fisso in caso di microzonazione: ne consegue che IRS in termini di PGA non varia considerando l'accelerazione su suolo rigido oppure tenendo conto degli effetti di suolo.

Il calcolo della capacità della struttura (in termini di PGA ed eventualmente di T_R) allo Stato Limite Ultimo (Stato Limite di salvaguardia della Vita SLV) viene condotto con riferimento all'Analisi Cinematica, o Analisi per Meccanismi di Collasso, secondo quanto riportato nella Normativa Italiana vigente (Circ.617 del 2.2.2009, §C8A.4). Calcolato il moltiplicatore di collasso α_0 attraverso l'elaborazione adottata dal software SAV, viene determinata l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo secondo la modalità descritta in §C8A.4.2.2:

$$a_{0*} = \alpha_0 g / (e * FC) \text{ [cfr. (C8A.4.4)]}$$

da confrontarsi con l'accelerazione al suolo:

$$a_{1*} = a_g S / q \text{ [cfr. (C8A.4.9)]}$$

e, in aggiunta, in caso di struttura posta ad una certa quota, con l'accelerazione assoluta alla quota di ubicazione della struttura esaminata (amplificata rispetto all'accelerazione al suolo):

$$a_{2*} = S_e(T_1) * \psi(Z) * \gamma / q \text{ [cfr. (C8A.4.10)]}$$

In altri termini, a_{1*} è la domanda in termini di accelerazione spettrale per un corpo rigido, mentre a_{2*} è l'analoga per un corpo deformabile posto ad una certa quota (per il quale si deve considerare l'amplificazione dell'accelerazione al suolo).

Il significato dei parametri utilizzati nelle formule indicate è il seguente:

$S_e(T_1)$ è lo spettro elastico definito dalla Norma di riferimento, in funzione del primo periodo T_1 di vibrazione dell'intera struttura nella direzione considerata;

$\psi(Z)$ è il primo modo di vibrazione nella direzione considerata, con Z altezza, rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal meccanismo ed il resto della struttura;

γ è il coefficiente di partecipazione modale;

q è il fattore di struttura, che viene assunto pari a 2.0.

Deve cioè aversi:

$$a_{0*} \geq a^*, \text{ con: } a^* = \max(a_{1*}; a_{2*})$$

Il rapporto fra a_{0*} e a^* costituisce già un coefficiente di sicurezza; per determinare tuttavia la sicurezza in termini di IRS viene utilizzato un procedimento iterativo volto a definire il livello di input sismico in corrispondenza del quale vale l'uguaglianza $a_{0*}=a^*$: si individua così PGA,CLV e conseguentemente IRS.

Il procedimento di calcolo viene ripetuto per ogni arco costituente la Volta e per ognuna delle due Combinazioni di Carico Sismiche (+X e -X); nel caso di Volta composta da più archi, il minimo indicatore di rischio fra tutti gli archi ideali determina il risultato finale.

Nella relazione di calcolo elaborata da SAV, viene infine definita la **capacità della struttura in termini di Vita Nominale** (V_{NC}), identificata con la Vita Nominale che è possibile assegnare alla struttura, in conseguenza del periodo di ritorno sostenibile TR,CLV, mantenendo nel corrispondente periodo di riferimento V_{RC} ($=V_{NC} * C_U$) la probabilità di superamento PV_R definita in input per lo Stato Limite ultimo SLV.

Per una valutazione del valore ottenuto per V_{NC} relativa a beni monumentali, si tenga presente che valori della vita nominale maggiori di 20 anni possono considerarsi ammissibili per un manufatto tutelato (§2.4 Direttiva P.C.M 9.2.2011, attuativa della Circ.26 del 2.12.2010 del Ministero per i Beni e le Attività Culturali). Se risulta: $TR,CLV \geq 2475$ anni, si potrà considerare un valore della vita nominale \geq del limite V_{NC} riportato nei risultati (corrispondente a $T_R=2475$ anni: $V_{NC} \geq 2475 * -\ln(1-PV_R) / C_U$).

Risultati dell'analisi:

Moltiplicatore di collasso α_0

Peso sismico totale $P_{tot} = g * \text{Massa totale} = \sum P_i$ (kN)

Massa sismica totale = $\sum P_i/g$ (kgm)

$g * \text{Massa partecipante} = gM^* = g * (\sum (P_i * \delta_i))^2 / \sum (P_i * \delta_i^2)$ (kN)

Massa partecipante $M^* = (\sum (P_i * \delta_i))^2 / (g * \sum (P_i * \delta_i^2))$ (kgm)

Frazione di massa partecipante $e^* = gM^*/P_{tot}$

Accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo a_{0*} (* g) = $\alpha_0 g / (e^* FC)$

PGA,DLV: Domanda in termini di PGA per SLV (* g) = f(TR) secondo dati su Pericolosità Sismica

Accelerazione spettrale richiesta:

- su sottostante corpo rigido (* g) (C8A.4.7): $a^*,1: a, g * S/q$

- su sottostante corpo deformabile (* g) (C8A.4.8): $a^*,2: Se(T1) * \psi(Z) * \gamma/q$

- massima accelerazione spettrale richiesta a^* (*g)

PGA,CLV: Capacità in termini di PGA per SLV (PGA t.c. $a_{0*}=a^*$) (*g)

TR,CLV: Capacità in termini di TR per SLV (*g)

Indicatori di Rischio Sismico IRS (verifica soddisfatta se $IRS \geq 1.000$):

- in termini di PGA: (PGA,CLV / PGA,DLV)

- in termini di T_R : (TR,CLV / TR,DLV)

- in termini di T_R su scala compatibile con quella di IRS,PGA: (TR,CLV / TR,DLV)^{0.41}

Capacità della struttura in termini di Vita Nominale:

Coefficiente d'uso della costruzione (§2.4.2, 2.4.3) C_U

Dati in input (domanda): Vita Nominale V_N (§2.4.1), Vita di Riferimento (§2.4.3) $V_R = V_N * C_U$

PV_R per SLV (definita in input)

Dai risultati dell'analisi: capacità in termini di periodo di ritorno TR, CLV

Dalla relazione: $T_R = -V_R / \ln(1-PV_R)$, ponendo $T_R=TR,CLV$ e assumendo PV_R per SLV definita in input, seguono la capacità della struttura in termini di Vita di Riferimento (V_{RC}) e quindi di Vita Nominale (V_{NC}).

6.3.1.2. ANALISI IN ASSENZA DI DATI SU T_R (EUROCODICI)

La formulazione dell'azione sismica proposta dall'EuroCodice 8 non prevede il collegamento dei parametri di spettro al valore dell'accelerazione al suolo.

Nei Parametri di Calcolo, scheda Sismica (cfr. p. 3.5.1) è possibile considerare F_0, S, T_B, T_C, T_D indipendenti da ag (definiti in corrispondenza di SLV), da cui consegue che $Se(T)$ è lineare con ag.

È possibile valutare la capacità in termini di PGA. Sotto queste ipotesi, non è definibile una capacità in termini di TR né il corrispondente indicatore di rischio.

È invece possibile valutare l'Indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA.

La capacità della struttura in termini di PGA (PGA,CLV) indica l'accelerazione (o il corrispondente periodo di ritorno) sostenibili dalla struttura allo stato limite ultimo; la domanda in termini di PGA (PGA,DLV) indica i dati dell'input sismico per la struttura esaminata. IRS risulta uguale al rapporto (PGA,CLV/PGA,DLV).

Per un Edificio Esistente sottoposto ad Adeguamento, l'Indicatore di Rischio Sismico deve essere ≥ 1.000 : in tal caso infatti la struttura ha il livello di sicurezza previsto dalla Norma di riferimento. Per un Edificio Esistente sottoposto ad un'analisi di vulnerabilità sismica nel suo Stato Attuale (oppure, per un edificio esistente danneggiato di cui si sta esaminando lo Stato prima dell'intervento, inteso come Stato Pre-sisma), IRS (che può essere < 1.000) caratterizza la sua capacità antisismica. E' possibile in tal caso studiare idonei interventi di miglioramento per incrementare IRS nel passaggio dallo Stato Attuale (o stato di fatto) allo Stato di Progetto.

PGA, può intendersi (come specificato dai parametri di calcolo) l'accelerazione al suolo comprensiva dell'effetto di suolo (fattore S). Con fattore di suolo fisso (nella Normativa Italiana S, come gli altri parametri di spettro, dipende da ag), IRS in termini di PGA non varia considerando l'accelerazione su suolo rigido oppure tenendo conto degli effetti di suolo.

Il calcolo della capacità della struttura allo stato limite ultimo viene condotto con riferimento all'Analisi Cinematica, o Analisi per Meccanismi di Collasso, secondo quanto riportato nella Normativa Italiana vigente (Circ.617 del 2.2.2009, §C8A.4). Calcolato il moltiplicatore di collasso $\alpha,0$ attraverso l'elaborazione adottata dal software SAV, viene determinata l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo secondo la modalità descritta in §C8A.4.2.2:

$$a,0^* = \alpha,0 \text{ g} / (e^* \text{ FC}) \text{ [cfr. (C8A.4.4)]}$$

da confrontarsi con l'accelerazione al suolo:

$$a,1^* = a,g \text{ S} / q \text{ [cfr. (C8A.4.9)]}$$

e, in aggiunta, in caso di struttura posta ad una certa quota, con l'accelerazione assoluta alla quota di ubicazione della struttura esaminata (amplificata rispetto all'accelerazione al suolo):

$$a,2^* = Se(T1) * \psi(Z) * \gamma / q \text{ [cfr. (C8A.4.10)]}$$

In altri termini, $a,1^*$ è la domanda in termini di accelerazione spettrale per un corpo rigido, mentre $a,2^*$ è l'analoga per un corpo deformabile posto ad una certa quota (per il quale si deve considerare l'amplificazione dell'accelerazione al suolo).

Il significato dei parametri utilizzati nelle formule indicate è il seguente:

$Se(T1)$ è lo spettro elastico definito dalla Norma di riferimento, in funzione del primo periodo $T1$ di vibrazione dell'intera struttura nella direzione considerata;

$\psi(Z)$ è il primo modo di vibrazione nella direzione considerata, con Z altezza, rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal meccanismo ed il resto della struttura;

γ è il coefficiente di partecipazione modale;

q è il fattore di struttura, che viene assunto pari a 2.0.

Deve cioè aversi:

$$a,0^* \geq a^*, \text{ con: } a^* = \max(a,1^*; a,2^*)$$

Il rapporto fra $a,0^*$ e a^* costituisce già un coefficiente di sicurezza; per determinare tuttavia la sicurezza in termini di IRS viene utilizzato un procedimento iterativo volto a definire il livello di input sismico in corrispondenza del quale vale l'uguaglianza $a,0^* = a^*$: si individua così PGA,CLV e conseguentemente IRS.

Il procedimento di calcolo viene ripetuto per ogni arco costituente la Volta e per ognuna delle due Combinazioni di Carico Sismiche (+X e -X); nel caso di Volta composta da più archi, il minimo indicatore di rischio fra tutti gli archi ideali determina il risultato finale.

Risultati dell'analisi:

Moltiplicatore di collasso $\alpha,0$

Peso sismico totale $P,tot = g * \text{Massa totale} = \sum Pi$ (kN)

Massa sismica totale = $\sum Pi/g$ (kgm)

$g * \text{Massa partecipante} = gM^* = g * (\sum (Pi * \delta_i))^2 / \sum (Pi * \delta_i^2)$ (kN)

Massa partecipante $M^* = (\sum (Pi * \delta_i))^2 / (g * \sum (Pi * \delta_i^2))$ (kgm)

Frazione di massa partecipante $e^* = gM^*/Ptot$

Accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo $a,0^* (*g) = \alpha,0 \text{ g} / (e^* \text{ FC})$

PGA,DLV: Domanda in termini di PGA per SLV (*g)

Accelerazione spettrale richiesta:

- su sottostante corpo rigido (*g) (C8A.4.7): $a^*,1: a,g * S/q$

- su sottostante corpo deformabile (*g) (C8A.4.8): $a^*,2: Se(T1) * \psi(Z) * \gamma/q$

- massima accelerazione spettrale richiesta $a^* (*g)$

PGA,CLV: Capacità in termini di PGA per SLV (PGA t.c. $a0^* = a^*$) (*g)

Indicatore di Rischio Sismico IRS (verifica soddisfatta se $IRS \geq 1.000$):

- in termini di PGA: $(PGA,CLV / PGA,DLV)$

6.4. Finestra RELAZIONE

La finestra Relazione consente la visualizzazione della Relazione di calcolo precedentemente elaborata usando il comando Stampa del menu File della finestra Progetto.

In questo modo la Relazione può essere gestita come finestra interna di SAV senza necessità di lanciare un software esterno, tipo Word. In ogni caso, per stamparne il contenuto o arricchirne il testo ad esempio inserendo figure, occorre utilizzare un word-processor, ad esempio Word.

La relazione di calcolo visualizzabile deve essere un file rtf posto nella sottocartella:

\\Aedes2012\Sav\Output\NomeProgetto

dove vengono collocati tutti i files grafici (bmp, dxf) e di testo (rtf) prodotti da SAV per il Progetto corrente.

La finestra Relazione consente anzitutto la **visualizzazione della Relazione di calcolo** precedentemente elaborata, in modo da gestirla come finestra interna di SAV senza necessità di lanciare un software esterno, tipo Word. Resta fermo che, per stamparne il contenuto o arricchirne il testo ad esempio inserendo figure, occorre utilizzare un word-processor, ad esempio Word.

L'uso di questa finestra permette ad esempio di tenere in linea i risultati sotto forma di testo, mentre si consultano anche per via grafica nelle finestre grafiche (1) e (2). E' inoltre utile per consultare risultati di schematizzazioni intermedie dell'arco, rimandando magari l'elaborazione della relazione su Word alla stesura definitiva del modello strutturale.

La finestra Relazione può essere inoltre utilizzata per la **visualizzazione di informazioni dettagliate riguardanti dati e risultati**, operazione estremamente utile nel corso della sessione di lavoro con SAV. Anziché produrre la relazione di calcolo estesa (per la quale è necessario creare, come già detto, il file RTF), è possibile sfruttare la presenza di relazioni predefinite, generate da SAV in corso di elaborazione al termine della fase di calcolo ('Scrittura dati e risultati'), e corrispondenti a tutti i tipi di verifiche eseguiti.

Per usufruire di questa opportunità, è sufficiente eseguire il disegno della verifica desiderata in una delle due finestre grafiche, e quindi fare clic sul corrispondente pulsante grafico  (Richiesta Informazioni) (barra degli strumenti laterale destra): la finestra Relazione viene automaticamente aperta ed al suo interno è riportata in dettaglio numerico la verifica in corso di consultazione.

Cambiando Analisi (p.es. da Statica a Sismica), la finestra Relazione viene automaticamente aggiornata facendoci sopra un clic (non è necessario, cioè, eseguire nuovamente il comando di 'Richiesta Informazioni').

Nei paragrafi 6.4.1, 6.4.2 e 6.4.3 vengono riassunte le descrizioni dei dati in input, così come inserite, se richieste, nella Relazione di Calcolo elaborata con il comando Stampa.

Menu FILE

Apri relazione... = Apre una finestra di dialogo dove è possibile specificare quale relazione visualizzare nella finestra Relazione. Le relazioni devono essere files rtf posti in \\Aedes2012\Sav\Output\NomeProgetto. Poiché quindi la relazione è selezionabile, possono essere state elaborate - per il Progetto corrente - più relazioni, in modo da confrontarne il contenuto attraverso la loro visualizzazione.

Salva relazione = Salva la relazione corrente. Questo comando può essere eseguito dopo aver modificato il testo della Relazione visualizzata nella finestra.

Salva relazione con nome... = Apre una finestra di dialogo, dove, dopo modifiche del testo, la relazione correntemente visualizzata può essere salvata con altro nome, in modo da conservare il testo precedente.

6.4.1. DATI: PROGETTO, STRUTTURA, CARICHI (CCE e CCC)

Questo paragrafo mostra la descrizione dei dati Progetto, Struttura e Carichi che, se richiesta, viene inserita dal comando Stampa nella Relazione di Calcolo.

Dati PROGETTO

I dati del Progetto consentono l'impostazione della tipologia della struttura voltata. In particolare:

Tipologia = qualifica la struttura come Volta cilindrica (a botte), suddivisa idealmente in più archi (detti: Archi Ideali), o come Singolo Arco.

Geometria della curva: arco = identifica la curva descrittiva dell'arco (sezione trasversale della Volta).

Dati STRUTTURA

I dati della struttura voltata sono organizzati in **sette gruppi (Volta, Arco, Muri/Piedritti, Contorno, Muratura (1), Muratura (2), Rinforzi)**.

Volta

N° di Condizioni di Carico Elementari (CCE), N° di Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari (CCC) = i carichi vengono descritti nel seguito, nel paragrafo: 'Dati Carichi';

Profondità: Ly = indica la profondità della Volta (dimensione in pianta in direzione Y). La somma delle profondità Ly dei singoli Archi Ideali costituenti la Volta coincide necessariamente con la profondità della Volta. Nel caso di Arco Singolo, ovviamente, la profondità della Volta coincide con la profondità del Singolo Arco, tranne il caso di archi definiti per punti o policentrici, dove le profondità possono essere variate per ogni singolo concio (arco per punti) o per ogni singolo arco di circonferenza componente (policentrico);

Numero di Archi Ideali di calcolo = indica il numero di archi in cui viene suddivisa la struttura voltata. Tale numero è pari a 1 nel caso di Singolo Arco.

Dati Archi Ideali:

Ly = profondità del singolo Arco Ideale;

Catena = se attivata, indica il contributo statico di una catena (tirante metallico);

d, Z, fyd = dati della catena: diametro, quota assoluta (rispetto allo zero del riferimento XZ) e tensione di snervamento.

Nel caso di catene non aventi sezione circolare (ad es. quadrelli) occorre specificare un diametro 'equivalente' in modo che la sezione metallica resistente sia identica.

Il procedimento numerico scarterà i casi di catene compresse (ritenute in sbandamento per carico di punta, e quindi inefficaci) ed eseguirà la verifica a trazione confrontando l'eventuale tensione di trazione (=sforzo normale diviso l'area del tondino) con la resistenza allo snervamento specificata in input.

Arco

Contiene i parametri che, in base alla tipologia, descrivono la configurazione geometrica dell'arco.

Di seguito riportiamo, per ogni tipologia, l'elenco dei parametri in input (cioè dei parametri modificabili dall'Utente; altri parametri, per ogni tipologia di arco, vengono derivati dai dati in input, ad esempio: gli angoli di imposta per l'arco circolare a sesto ribassato).

- Arco Circolare a tutto sesto (spessore costante o variabile)

Freccia (coincide con il raggio di intradosso); spessore all'imposta; spessore in chiave. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nel centro della circonferenza di intradosso. Se l'arco ha spessore variabile (spessore d'imposta maggiore dello spessore in chiave), il centro della circonferenza d'estradosso ha Z negativa (sull'asse Z, è localizzato in un punto sottostante l'origine). Se l'arco ha spessore costante, il centro della circonferenza d'estradosso coincide con l'origine, cioè con il centro della circonferenza d'intradosso.

- Arco Circolare a sesto ribassato (spessore costante o variabile)

Freccia; corda; spessore all'imposta; spessore in chiave. Lo spessore all'imposta è la lunghezza del giunto (interfaccia del concio) all'imposta, misurata sul raggio della circonferenza di intradosso. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nel centro della circonferenza di intradosso.

- Arco Circolare zoppo (spessore costante)

Freccia; corda (la corda si riferisce alla proiezione orizzontale dell'intradosso compresa fra il punto d'imposta di intradosso a quota inferiore e la chiave dell'arco); altezza di imposta sinistra; altezza di imposta destra; spessore. L'altezza d'imposta rappresenta la distanza verticale fra i vertici estremi d'intradosso. Solo una delle due altezze d'imposta (la sinistra o la destra) può essere diversa da zero. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nel centro comune delle circonferenze di intradosso e di estradosso.

- Arco Circolare a sesto acuto (spessore costante)

Freccia; corda (la corda si riferisce sempre alla distanza fra i vertici estremi di intradosso. Qualora gli angoli alle imposte non siano 180° per la sinistra e 0° per la destra, si dovrà fare riferimento all'estensione degli archi di circonferenza d'intradosso fino all'orizzontale passante per i centri delle due circonferenze corrispondenti ai semiarchi di destra e di sinistra); angolo d'imposta sinistro; angolo d'imposta destro (per archi a sesto acuto simmetrici a sviluppo completo, si avrà: angolo d'imposta sinistro pari a 180° e destro pari a 0°); spessore. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nell'intersezione della retta orizzontale congiungente i centri dei due semiarchi con l'asse verticale dell'arco determinato dall'interfaccia in chiave (asse di simmetria nel caso di semiarchi uguali). Qualunque sia il criterio di suddivisione dell'arco in conci, viene sempre predisposta un'interfaccia lungo l'asse verticale Z.

- Arco Circolare a sesto acuto (spessore variabile)

Parametri analoghi al caso dell'arco a sesto acuto a spessore costante, con i seguenti significati per gli spessori: lo 'spessore in chiave s,c' è la lunghezza di interfaccia in chiave (misurato in direzione verticale, lungo l'asse Z); lo 'spessore s' coincide con lo spessore all'imposta orizzontale. Se dunque, con riferimento all'imposta sinistra, l'angolo di imposta non è pari a 180°, si deve idealmente proseguire la circonferenza di intradosso fino all'asse X, e lo spessore rappresenterà la distanza dell'estradosso in direzione orizzontale.

- Arco Policentrico

Angolo di imposta sinistro; numero di Archi Elementari (=archi di circonferenza componenti la policentrica); Raggi, Angoli, Spessori e Profondità degli Archi Elementari. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nel vertice di intradosso iniziale del primo Arco Elementare (il n°1, arco iniziale più a sinistra).

- Arco Ellittico (spessore costante o variabile)

Freccia; corda (la corda si riferisce sempre alla distanza fra i vertici estremi di intradosso, cioè all'asse orizzontale dell'ellisse di intradosso); angolo d'imposta sinistro (gli angoli di imposta si riferiscono all'ellisse media, cioè all'asse dell'arco); angolo d'imposta destro; spessore all'imposta (è lo spessore all'imposta orizzontale. Se dunque, con riferimento all'imposta sinistra, l'angolo di imposta non è pari a 180°, si deve idealmente proseguire l'arco d'ellisse di intradosso fino all'asse orizzontale dell'ellisse (asse X), e lo spessore rappresenterà la distanza dell'estradosso in direzione orizzontale); spessore in chiave. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nel centro dell'ellisse.

- Arco Per Punti

Angolo di imposta sinistro; angolo di imposta destro; profilo di estradosso continuo (in caso affermativo, la curva di estradosso collega con continuità i conci senza scalini dovuti alle variazioni di spessore); numero di Punti; Coordinate Intradosso, Spessori e Profondità in corrispondenza dei Punti. L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è automaticamente posta nel vertice di intradosso iniziale.

- Piattabanda

Luce inferiore; luce superiore; spessore all'imposta; spessore in chiave. Gli spessori sono misurati in direzione verticale; quello all'imposta, a partire dall'origine degli assi (cioè dal vertice d'intradosso iniziale), e quello in chiave lungo l'asse di simmetria (asse verticale di mezzera). L'origine del sistema di riferimento assoluto XZ è posta nel vertice iniziale (sinistro) d'intradosso.

Muri / Piedritti

Contiene i parametri che descrivono le strutture d'imposta della Volta, muri (nel caso di struttura voltata estesa) o piedritti (corrispondenti al caso del Singolo Arco).

Separatamente per piedritto sinistro e per piedritto destro, vengono specificati i seguenti parametri.

- Altezza;

- **Tipologia della sezione** (Rettangolare, Circolare, Ottagonale). Per la sezione Rettangolare: dimensione lungo l'asse X (Lx) superiore (sommità) e inferiore (base), e dimensione lungo l'asse Y (Ly). Per la sezione Rettangolare è quindi possibile specificare piedritti a sezione variabile linearmente in altezza; è inoltre possibile specificare se la superficie d'intradosso (interna alla Volta) è verticale: questo parametro ha influenza ovviamente solo nel caso di sezione variabile in altezza. Per la sezione Rettangolare è inoltre possibile specificare se il piedritto è unico oppure viene suddiviso in porzioni corrispondenti agli Archi Ideali che vi si impostano. Se il piedritto è unico (non diviso), tutte le azioni di imposta provenienti dai vari Archi Ideali vengono composte sulla sezione di sommità del piedritto stesso. Per la sezione Circolare, viene richiesto il diametro; per la sezione Ottagonale, il lato. Nel caso di Volta composta da più Archi Ideali, la sezione dei piedritti è obbligatoriamente rettangolare;

- **Distanza dX** fra superficie interna del piedritto e punto di intradosso dell'imposta dell'arco;

- **Dimensioni della fondazione:** altezza e dimensioni lungo X e lungo Y.

Contorno

Questo gruppo di dati contiene i parametri che descrivono le strutture di contorno: Rinfianchi, Sottofondo, Pavimentazione.

I rinfianchi (o riempimento) sono definiti dal volume sovrastante l'arco fino al massimo alla quota di estradosso in chiave (o fino ad una quota inferiore rispetto alla linea orizzontale di chiave, quota definita dalla distanza dalla linea di chiave stessa).

Si parla, più propriamente, di 'rinfianchi' quando la struttura di contorno assume valenza strutturale, mentre il 'riempimento' corrisponde a materiale avente semplicemente la funzione di peso sull'arco. E' noto che il peso del rinfianco o riempimento svolge un ruolo generalmente benefico sulla statica dell'arco, stabilizzandone la curva delle pressioni (anche se una massa eccessiva potrebbe non essere favorevole per il comportamento sismico della struttura). Le strutture sovrastanti (sottofondo, pavimentazione) si impostano immediatamente sopra la linea di chiave dell'arco.

In SAV, rinfianchi, sottofondo e pavimentazione svolgono un ruolo di puro carico nei confronti dell'unico elemento strutturale analizzato, cioè l'arco. Nella realtà, tali sovrastrutture esercitano anche un ruolo di vincolo e, in certi casi, di struttura resistente. Per esempio, la verifica sismica condotta sul solo arco in presenza di una solidarizzazione alla muratura di contorno (è il caso di un arco inserito come apertura nella facciata di un edificio) è sicuramente a vantaggio di sicurezza, in quanto nella realtà la funzione strutturale dell'arco verrà 'integrata' dalla collaborazione col resto della struttura.

Infine, lo spessore di sottofondo e/o pavimentazione può contribuire alla diffusione dei carichi applicati, pensati agenti sulla superficie superiore della struttura (quindi, p.es. sopra la pavimentazione). Un carico generico (di superficie, lineare o concentrato) verrà infatti diffuso a 45° entro tale spessore, qualora la corrispondente opzione sia attivata nella definizione del carico stesso (nell'ambito di definizione delle CCE).

Muratura (1), (2)

I gruppi di dati Muratura contengono i parametri che descrivono il materiale murario: (1) della Volta; (2) dei Piedritti.

- **Resistenza media a compressione f_m** = può essere nota da prove sperimentali, oppure ricavata da formulazioni proposte in Normativa. La Normativa Italiana ha aggiornato i dati riguardanti la muratura esistente nella tabella C8A.2.1 della Circ.617 del 2.2.2009; tuttavia si deve tener presente che tali parametri fanno riferimento a 'pareti murarie portanti' e quindi per le murature degli archi la situazione può essere anche molto diversa. Si pensi ad esempio agli archi con giunti a secco, dove la resistenza a compressione diventa quella tipica della pietra, con valori certamente più elevati rispetto a quelli proposti dalla Norma citata.

Per ottenere la resistenza a compressione di progetto f_{md} si deve dividere f_m per γ_M (definito nei Parametri di Calcolo e differenziato fra Analisi Statica e Analisi Sismica) e per F_C ;

- **Peso Specifico;**

- **Coefficiente d'attrito a livello dei giunti: f** = il coefficiente d'attrito f è definito come la tangente dell'angolo d'attrito interno φ fra due blocchi (conci) consecutivi, ed è utilizzato per le verifiche a scorrimento. Nel caso di presenza di malta, il valore di progetto normalmente utilizzato è 0.40; nel caso di muratura a secco occorre inserire l'angolo d'attrito fra blocchi di pietra.

Per ottenere il valore di progetto f_d del coefficiente d'attrito è possibile, a seconda della scelta effettuata nei Parametri di Calcolo (scheda Verifiche), applicare o meno il coefficiente di sicurezza γ ottenuto moltiplicando γ_M (definito nei Parametri di Calcolo e differenziato fra Analisi Statica e Analisi Sismica) per F_C .

La riduzione dovuta al coefficiente di sicurezza può essere evitata qualora il valore in input del coefficiente d'attrito sia già il valore di progetto ($f_d=f$): in tal caso, il valore di progetto del coefficiente d'attrito f_d è identico in analisi statica e in analisi sismica.

- **Fattore di Confidenza F_C** . Se si adotta l'ipotesi di Resistenza a Compressione infinita, ossia: non si esegue la Verifica a Compressione (scelta effettuata nei Parametri di Calcolo) il valore di F_C deve essere quello corrispondente a LC1: 1.35 [§C8A.4.2.2]. Se invece si esegue la verifica a compressione, il che equivale a considerare una resistenza a compressione finita, si potrà utilizzare il valore di F_C corrispondente all'effettivo livello di conoscenza con cui si è valutata la resistenza a compressione. Oltre che sulle resistenze di progetto, il valore di F_C influisce sulla analisi cinematica del meccanismo di collasso (§C8A.4.4): a valori di F_C minori corrispondono capacità della struttura più elevate.

Rinforzi

Il gruppo di dati Rinforzi consente la descrizione delle eventuali strutture di rinforzo previste per l'arco consolidato. I rinforzi sono distinti in due gruppi:

- rinforzi di superficie, che interessano la superficie di intradosso o di estradosso dell'arco;

- rinforzi puntuali, caratterizzati dalle catene. Per ogni Arco Ideale costituente la Volta, è possibile definire una catena nel gruppo dati 'Volta'. Le catene negli archi possono essere inserite contemporaneamente a rinforzi di superficie.

Per quanto riguarda i rinforzi di superficie, è possibile specificare alternativamente due tipologie:

- **cappa in calcestruzzo**, in estradosso o intradosso, avente un certo spessore; se la corrispondente opzione è selezionata, la cappa è armata con la rete elettrosaldata specificata (considerata per default in acciaio B450C);

- **nastri in composito fibrorinforzato** a matrice polimerica (FRP, sigla di "Fiber Reinforced Plastic"), posti in estradosso oppure in intradosso.

Dal punto di vista dell'analisi strutturale, nel procedimento di calcolo sarà possibile accettare trazioni nel lato rinforzato, fermo restando il vincolo di garantire che la muratura sia sempre compressa (cioè che vi siano solo sforzi di compressione nel lato sola muratura). Le trazioni, laddove insorgano sul lato rinforzato, saranno utilizzate per la verifica della struttura di rinforzo, e più precisamente per la verifica della rete e.s. nel caso della cappa o dei nastri tesi nel caso dei compositi fibrorinforzati.

Per la rete e.s. il confronto dello sforzo di trazione sarà svolto con la capacità di resistenza della rete, con riferimento al numero di toncini incontrati lungo la profondità dell'arco e alla tensione di snervamento dell'acciaio B450C (391 N/mm²; infatti: $f_{yk}=450$ N/mm² (§11.3.2.1 D.M.14.1.2008), $f_{yd}=f_{yk}/\gamma_S=450/1.15=391$ N/mm²: §3.2.7 EC2 e §2.4.2.2(1) EC2 per γ_S ; §4.1.2.1.1.3 D.M.14.1.2008).

La **cappa** può non essere armata (assenza di rete): in tal caso, l'incremento di sicurezza della struttura è legato all'aumento del carico, i cui effetti possono essere favorevoli staticamente ma di dubbia efficacia se non sfavorevoli dal punto di vista sismico (aumento della massa). Le verifiche competenti al rinforzo riguardano solo la tensione di compressione nel calcestruzzo.

Le tensioni di compressione competenti ad uno sforzo normale di compressione agente nella biella posta nella superficie consolidata (estradosso o intradosso) vengono calcolate ipotizzando una distribuzione uniforme nella cappa di calcestruzzo e confrontate, per la verifica di sicurezza, con f_{cd} , resistenza di progetto del calcestruzzo, il cui valore è calcolato secondo §4.1.2.1.1: $f_{cd} = \eta * \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$

con: $\alpha_{cc} = 0.85$, $\gamma_c = 1.5$; il coefficiente η vale 0.80 nel caso di soletta con spessore inferiore a 50 mm., 1.00 altrimenti.

Per i **nastri in FRP**, lo sforzo sarà confrontato con la resistenza a trazione di progetto, distinta nei casi di estradosso ed intradosso e nei valori competenti al tipo di Analisi, Statica o Sismica (questo perchè la resistenza di

trazione per delaminazione è influenzata dalla resistenza di progetto della muratura e quindi dal coefficiente parziale di sicurezza γ_M che può assumere valori diversi tra Statica e Sismica).

L'elaborazione di calcolo prevede in tal caso la possibilità di definire le superfici di nastro ottimali, necessarie a garantire la verifica di resistenza a trazione. I dati richiesti per i nastri in FRP (la cui tipologia può essere varia: carbonio ad alta resistenza, vetro, polivinilalcol, ecc.) sono i seguenti:

- **Spessore** = nel caso di più strisce sovrapposte, occorre specificare lo spessore complessivo;

- **Resistenza a trazione di progetto in estradosso, in intradosso** (distinta per Analisi Statica e Sismica) = è la resistenza di progetto, calcolata preventivamente e inserita in input, riferita al rinforzo in estradosso o in intradosso. Si possono specificare entrambe, anche se nel calcolo verrà ovviamente utilizzata solo quella che si riferisce alla posizione del rinforzo.

La resistenza in intradosso è generalmente inferiore a quella in estradosso, a causa della curvatura dell'arco.

Dati CARICHI

I dati sui Carichi vengono suddivisi in: Condizioni di Carico Elementari (CCE), e Combinazioni di Condizioni di Carico elementari (CCC). Nelle CCE vengono definiti i vari carichi in input.

CCE (Condizioni di Carico Elementari)

I carichi agenti sulla struttura voltata sono articolati in: carichi di superficie, lineari e concentrati. Sono tutti carichi verticali che insistono sull'estradosso della struttura voltata, e più esattamente alla quota Z dell'estradosso della pavimentazione. Per ognuno di tali carichi, è possibile specificare se eseguire la diffusione a 45° nello spessore sovrastante la linea di chiave (spessore determinato da sottofondo e/o pavimentazione). In tal caso, se tale spessore è >0, il carico da diffondere, di qualunque tipo sia, genera un'area di carico (diventando di fatto un carico di superficie), poiché la diffusione a 45° opera in tutte le direzioni.

Per ognuno dei carichi è possibile inoltre specificare se è affetto da moltiplicatore verticale e/o da moltiplicatore orizzontale (tutti i carichi corrispondenti a masse dovrebbero essere affetti da moltiplicatore orizzontale, per rappresentare la forza d'inerzia corrispondente all'azione sismica).

Carichi di superficie: DimX, DimY, X, Y, q, Diff. a 45°, Molt. vert., Molt. orizz.

DimX, DimY = dimensioni dell'area rettangolare di carico;

X, Y = coordinate in pianta del vertice inferiore sinistro dell'area di carico (t.c. il baricentro di carico è posto a: $(X+DimX/2), (Y+DimY/2)$);

q (kgf/m² - kN/m²) = carico verticale di superficie.

Carichi lineari: Lungo X, Dim, X, Y, q, Diff. a 45°, Molt. vert., Molt. orizz.

Lungo X = orientamento del carico, secondo X se affermativo, secondo Y altrimenti;

Dim = lunghezza della linea di carico;

X, Y = coordinate in pianta del vertice sinistro del carico (t.c. il baricentro è posto a: $(X+Dim/2), Y$ per carichi secondo X; $X, (Y+Dim/2)$ per carichi secondo Y);

q (kgf/m - kN/m) = carico verticale lineare uniformemente distribuito.

Carichi concentrati: X, Y, P, Diff. a 45°, Molt. vert., Molt. orizz.

X, Y = coordinate in pianta del punto di applicazione del carico;

P (kgf - kN) = carico verticale concentrato.

Il **Moltiplicatore verticale (Molt. vert.)** interessa tutti i carichi che si ritiene possano crescere proporzionalmente; il **Moltiplicatore orizzontale (Molt. orizz.)** interessa i carichi verticali da tradurre in forze sismiche (dettagli nel paragrafo dedicato alle CCC).

Carichi aggiuntivi sui piedritti: azioni concentrate (verticali e/o orizzontali) derivanti ad esempio da strutture sovrastanti o da spinte di strutture a volta adiacenti a quella esaminata; il punto di applicazione è posto ad una quota misurata rispetto alla sommità del piedritto e positiva verso il basso (quindi Quota=0 per le azioni sulla sezione di sommità), ossia controversa all'asse di riferimento globale Z

Pied.sx, Fx, Fz, Ex, Ey, Quota, Stat., Sism.+X, Sism.-X

Pied.sx = sinistro se affermativo, destro altrimenti;

Fx, Fz (kgf o kN) sono le due componenti (+/-) del carico aggiuntivo sul piedritto:

Fx = componente orizzontale (secondo X), nel piano della struttura voltata, positiva se agente verso l'interno della struttura voltata;

Fz = componente verticale (secondo Z), positiva se agente verso il basso;

Ex, Ey = eccentricità (+/-) del punto di applicazione del carico aggiuntivo. Ex è la distanza dall'intradosso dell'arco, positiva verso l'interno della struttura voltata; Ey è la distanza dall'asse X (in pianta, l'asse X è posto nel piano d'imposta del fronte anteriore della struttura voltata, ossia, in altri termini, in basso, nella pianta, all'inizio della struttura);

Quota = quota (+/-) del punto di applicazione del carico rispetto alla sommità del piedritto, positiva verso il basso (controvertosa all'asse Z);

Stat., Sism.+X, Sism.-X = opzioni che indicano se il carico aggiuntivo deve essere considerato nell'analisi statica o nelle analisi sismiche secondo X, rispettivamente nel verso positivo (+X) e negativo (-X).

La **tabella delle CCE** è così composta:

N°, Commento, Psi,2 (quasi perm.), P.p. volta, P.p. rinf.sx, P.p. rinf.dx, P.p. sottof., P.p. pavim., Carichi di superficie, Carichi lineari, Carichi concentrati, Car.aggiuntivi sui piedritti

dove:

Psi,2 (S.L.U.) = con riferimento alla Normativa tecnica Italiana (D.M. 14.1.2008, § 3.2.4), è un coefficiente che tiene conto della probabilità di presenza del carico in fase sismica. Verrà posto pari a 0 per le CCE che non si vuole influiscano sull'analisi sismica; altrimenti, assumerà i valori $\Psi_{i,2} = 1$, per carichi permanenti, e $\Psi_{i,2} < 1$ per carichi variabili. Per condurre una corretta analisi sismica, le CCE dovranno quindi essere suddivise almeno in tante condizioni di carico quanti sono i gruppi di carico corrispondenti a valori di $\Psi_{i,2}$ distinti (in genere: una CCE per i carichi permanenti, una per ogni tipo di carico variabile indipendente);

P.p. volta, P.p. rinf.sx, P.p. rinf.dx, P.p. sottof., P.p. pav. = opzioni che definiscono l'influenza dei pesi propri nella CCE. Ai pesi propri non viene mai associato il moltiplicatore dei carichi verticali (che per suo stesso significato fisico sarà applicato a carichi di natura variabile, non a permanenti), ma viene invece sempre associato il moltiplicatore dei carichi orizzontali (trattandosi di masse permanenti);

Carichi di superficie, Carichi lineari, Carichi concentrati, Car.aggiuntivi sui piedritti = carichi specificati in input in dettaglio, secondo le indicazioni di cui sopra.

CCC (Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari)

L'**Analisi Statica** viene eseguita per tutte le CCC (Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari) specificate. E' possibile studiare anche più tipi di combinazioni (p.es. con mezzi rinfianchi, o con alcuni carichi piuttosto che altri).

Per ogni CCC si può calcolare, se richiesto nei Parametri di Calcolo, il moltiplicatore di carico verticale facendo crescere tutti i carichi affetti da Molt. vert. contenuti nelle CCE che costituiscono la CCC.

In accordo con la Normativa vigente (§2.5.3), i coefficienti di combinazione delle CCC possono coincidere con i **coefficienti parziali per le azioni γ_G e γ_Q** . Ciò presuppone che le CCE siano state distinte per i diversi contributi di carico: permanenti e variabili. Normalmente i permanenti vengono conglobati in un'unica CCE, che contiene quindi pesi propri e carichi permanenti non strutturali.

Con riferimento agli stati limite ultimi di tipo STR, possono essere utilizzati i seguenti coefficienti:

- per i carichi permanenti (tutti): $\gamma_G = 1.0$ se favorevoli, $\gamma_G = 1.3$ se sfavorevoli; in generale, nei confronti delle strutture voltate i carichi permanenti, normalmente distribuiti su tutta la luce, svolgono ruolo favorevole, e quindi si adotta direttamente il valore 1.0;

- per i carichi variabili: $\gamma_Q = 0.0$ se favorevoli (come avviene in genere nel caso di carichi distribuiti sull'intera luce dell'arco); $\gamma_Q = 1.5$ se sfavorevoli (ad esempio nel caso di distribuzioni uniformi parzialmente agenti sulla luce dell'arco oppure nel caso di carichi concentrati). Una possibile scelta riguarda la definizione di due CCC distinte, una con $\gamma_Q = 0.0$ e l'altra con $\gamma_Q = 1.5$. Nel caso dei ponti in muratura (§C5), $\gamma_Q = 1.5$ viene corretto in: $\gamma_Q = 1.35$ per le azioni da traffico stradale e in: $\gamma_Q = 1.45$ per le azioni da traffico ferroviario.

L'**Analisi Sismica** viene eseguita per 1 sola combinazione, considerando agenti:

a) i carichi verticali corrispondenti a tutte le CCE affetti dai valori $\Psi_{i,2}$ corrispondenti, e che abbiano specificato il Molt. orizz. (essi corrispondono a masse);

b) i carichi orizzontali corrispondenti al moltiplicatore orizzontale in input, applicato a tutti i carichi di cui al punto a). In pratica, con i carichi di cui al punto a) si calcolano tutte le azioni verticali nei conci; ognuna di queste azioni viene poi moltiplicata per il moltiplicatore orizzontale in input, per ottenere la corrispondente azione sismica (agente in direzione orizzontale X). Il valore del moltiplicatore orizzontale in input viene specificato nei Parametri di Calcolo.

Se l'Analisi Sismica richiede anche la determinazione del moltiplicatore di collasso, il moltiplicatore viene fatto crescere progressivamente sino a raggiungere la configurazione di collasso.

Il moltiplicatore di collasso della struttura voltata, sia per carichi verticali, sia per carichi orizzontali, viene sempre determinato con riferimento alla Volta, come minimo valore fra tutti i moltiplicatori determinati per gli archi ideali costituenti la Volta, distintamente fra le tre analisi possibili (Statica, Sismica +X, Sismica -X).

6.4.2. DATI: CARICHI NEI CONCI (CCE)

Questo paragrafo mostra la descrizione dei dati Conci che, se richiesta, viene inserita dal comando *Stampa nella Relazione di Calcolo*.

Per ogni Arco Ideale, i dati sui Carichi nei Conci si riferiscono alle forze generate dalle varie CCE nei concetti. Queste forze vengono tra loro combinate secondo i coefficienti delle Combinazioni delle Condizioni di Carico elementari, al fine di determinare le azioni di calcolo dei concetti, utilizzate direttamente nel procedimento risolutivo dell'analisi strutturale. I carichi nei concetti non sono dati in input diretto, ma derivano dai dati sulla struttura voltata e sulle CCE. Insieme ai carichi, vengono anche riportate le coordinate del baricentro dei concetti nel sistema di riferimento assoluto XZ.

Per ogni carico, il parametro Dx indica l'eccentricità della retta d'azione verticale del carico rispetto al baricentro del concetto. Dx è positiva se la retta d'azione del carico si trova a destra rispetto al baricentro (ossia è definita da un'ascissa positiva). Nel caso di P.p., peso proprio della Volta, il carico, per sua stessa natura, è applicato nel baricentro del concetto e quindi ha eccentricità nulla.

In dettaglio, i carichi sono i seguenti:

- **P.p.** = Carico sul concetto determinato dal peso proprio dell'arco (ossia del concetto stesso). Per sua stessa natura, questo carico ha eccentricità nulla in quanto il peso proprio è applicato nel baricentro;
- **P.p. rinf.** = Carico sul concetto determinato dal peso proprio del rinfianco (o riempimento);
- **P.p. sottof.** = Carico sul concetto determinato dal peso proprio del sottofondo;
- **P.p. pavim.** = Carico sul concetto determinato dal peso proprio del sottofondo;
- **Car.sup.** = Carico sul concetto determinato dai Carichi di superficie;
- **Car.lin.** = Carico sul concetto determinato dai Carichi lineari, secondo X e secondo Y;
- **Car.conc.** = Carico sul concetto determinato dai Carichi concentrati.

6.4.3. PARAMETRI DI CALCOLO

Questo paragrafo mostra la descrizione dei Parametri di Calcolo che, se richiesta, viene inserita dal comando *Stampa nella Relazione di Calcolo*.

GENERALI

> Schematizzazione geometrica

Generazione concetti (-1=concetti di uguale lunghezza, 0=numero di concetti specificato)

Per concetti di uguale lunghezza: - lunghezza concetti (cm)

Controllo di concetti tutti uguali (-1=sì, 0=no)

Per numero di concetti specificato: - numero di concetti

L'opzione 'numero di concetti specificato' è consigliabile in particolare per le configurazioni simmetriche, in modo che la suddivisione dei concetti in chiave rispetti l'asse di simmetria.

Piedritti: concetti ideali di uguale lunghezza, pari a:

Lunghezza concetti piedritto sx (cm), Lunghezza concetti piedritto dx (cm)

> **Sistema di Unità di misura:** Sistema Internazionale (-1=sì, 0=no)

> Tipo di Analisi

L'**Analisi Statica** viene sempre eseguita. **Moltiplicatore di collasso in direzione verticale** (-1=sì, 0=no) = indica se è richiesta l'elaborazione del moltiplicatore di collasso in direzione verticale

Analisi Sismica (-1=sì, 0=no). Fasi di esecuzione dell'analisi sismica:

(1) analisi della struttura voltata sotto forze orizzontali corrispondenti ad un dato moltiplicatore dei carichi verticali;

(2) determinazione del moltiplicatore di collasso nella direzione orizzontale X (XZ=piano dell'arco), nei due versi +X e -X.

Per la fase (1) viene specificato il moltiplicatore dei carichi verticali (o **Moltiplicatore orizzontale dei carichi**). Se si ha interesse solo allo studio del moltiplicatore di collasso, possono essere ignorati i risultati relativi alla fase (1).

> Dati Edificio

Numero piani dell'edificio. Per il coefficiente di partecipazione modale 'gamma' [§C8A.4.2.3] può essere adottato il valore semplificato in base al numero di piani N (cfr. scheda Verifiche): $\gamma = 3N/(2N+1)$.

Altezza complessiva della struttura rispetto alla fondazione [§C8A.4.2.3] H (m):

H viene utilizzata per il calcolo della funzione $\psi(Z)=(Z/H)$ che descrive in modo approssimato il primo modo di vibrazione.

Per il periodo proprio T1 dell'intera struttura può essere adottato il valore semplificato secondo §7.3.3.2 (cfr. scheda Verifiche).

Imposta Sinistra della struttura voltata: Quota da fondazioni (m)

In analisi sismica al collasso, l'altezza di imposta viene utilizzata per la determinazione dell'altezza Z, rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal cinematismo ed il resto della struttura.

> Vita Nominale, Classi d'Uso, Periodo di riferimento [§2.4]

Vita Nominale V,N (anni)

Classe d'uso (1=I,2=II,3=III,4=IV), da cui segue il Coefficiente d'uso C,U e il periodo di riferimento per l'azione sismica $V,R=V,N*C,U$

SISMICA

> Impostazione dello Spettro di Risposta elastico (componente orizzontale) (Fo,S,TB,TC,TD: 1=dependenti da ag, 2=indipendenti da ag)

1 = questa opzione caratterizza l'applicazione della **Normativa Tecnica Italiana** (D.M.14.1.2008):

Fo,S,TB,TC,TD dipendenti da ag [§3.2.3.2.1] => Se(T) non lineare con ag. Se Fo,S,TB,TC,TD per i vari TR coincidono con i valori definiti automaticamente dai criteri del D.M.14.1.2008, si può valutare una capacità in termini di PGA e di TR strettamente conforme al D.M.14.1.2008

2 = questa opzione può essere utilizzata per applicare l'**EuroCodice 8**, dove il legame fra a,g, TR e i parametri di spettro non è espresso in modo continuo su un reticolo sismico: Fo,S,TB,TC,TD indipendenti da ag (definiti in corrispondenza di SLV) => Se(T) lineare con ag. E' possibile valutare la capacità in termini di PGA. Questa opzione si applica automaticamente, assumendo - per Fo,S,TB,TC,TD - i valori definiti in corrispondenza di SLV, anche qualora non tutti tali parametri per i vari TR coincidano con i valori definiti automaticamente dai criteri del D.M. 14.1.2008.

> Determinazione dell'Azione Sismica

Individuazione del sito: Longitudine e Latitudine ED50 (gradi sessadecimali)

Tipo di interpolazione

1 = media ponderata §All.A,[3]

2 = superficie rigata §CA

Tab.2, All.B

0 = località non in Tab.2,All.B

1-20 = isola (località posta in Tab.2,All.B), con la seguente convenzione:

1=Arcipelago Toscano, 2=Isole Egadi, 3=Pantelleria, 4=Sardegna, 5=Lampedusa, 6=Linoso, 7=Ponza, 8=Palmarola, 9=Zannone, 10=Ventotene, 11=Santo Stefano, 12=Ustica, 13=Tremeti, 14=Alicudi, 15=Filicudi, 16=Panarea, 17=Stromboli, 18=Lipari, 19=Vulcano, 20=Salina

Valori dei parametri ag (*g), Fo, TC*(sec) per i periodi di ritorno di riferimento:

NTC08, §All.B: Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica

Per il sito di ubicazione della struttura, vengono specificati i valori di ag, Fo, TC* per i periodi di riferimento: (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975, 2475 anni).

P,VR (%) Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR §3.2.1

Per ognuno dei 4 stati limite di riferimento (SLO, SLD, SLV, SLC) le azioni sismiche dipendono dalla corrispondente probabilità P di superamento nel periodo di riferimento VR.

Valori dei parametri ag, Fo, TC* e altri parametri di spettro per i periodi di ritorno TR associati a ciascuno Stato Limite §3.2

Per ognuno dei 4 stati limite di riferimento (SLO, SLD, SLV, SLC) vengono definiti TR (anni), ag (*g), Fo, TC* e S, TB, TC, TD (periodi in sec.)

Categoria di sottosuolo (1=A,2=B,3=C,4=D,5=E) §3.2.2

Categoria topografica (1=T1,2=T2,3=T3,4=T4) §3.2.2**Rapporto quota sito / altezza rilievo topografico §3.2.2****Coefficiente di amplificazione topografica ST §3.2.3.2.1****Microzonazione sismica**

Definizione di PGA: la PGA (accelerazione orizzontale di picco al suolo), finalizzata a definire l'accelerazione sismica sostenibile dalla costruzione, può essere riferita al suolo rigido (roccia) oppure tenere conto degli effetti locali del sito attraverso il fattore di suolo S:

1 = acc. su roccia (come a,g)

2 = a,g*S (S=S,S*S,T)

VERIFICHE**> Verifiche di Sicurezza**

Oltre alla Verifica di Stabilità, sempre eseguita, possono essere condotte anche le verifiche ad Attrito (Taglio nei giunti) e a Compressione della muratura.

Verifica ad Attrito (-1=sì, 0=no): utilizzando i valori dei tagli e degli sforzi normali competenti alla configurazione stabile dell'arco, è possibile eseguire la verifica per scorrimento (o verifica ad attrito) dei giunti. Affinché tale tipo di verifica sia soddisfatto, occorre che il taglio T sia inferiore alla forza di attrito ($f \cdot N_C$), dove per f si assume il coefficiente di attrito della malta interposta fra i mattoni o i conci di pietra, o del concio sul concio nel caso di assenza di interposizione di malta (conci in mutuo contrasto tra loro). Il valore di f è in input nei Dati Struttura. Si ha: $f = \operatorname{tg} \varphi$, dove φ è l'angolo di attrito interno; per le malte si assume in genere: $\varphi = 35^\circ$, da cui: $f = 0.7$. In altri termini, i lati del poligono funicolare dovranno formare un angolo minore di 35° con le normali alle sezioni dell'arco (cioè alle interfacce) se non si vuole avere uno scorrimento fra i conci.

N_C è lo sforzo normale di compressione: se la sezione è interamente compressa, N_C è dato dalla somma degli sforzi nelle due bielle ortogonali d'interfaccia, altrimenti N_C è fornito dalla sola biella compressa. A resistere al taglio non è infatti l'azione interna sforzo normale N, ma la risultante delle compressioni.

Con un'apposita opzione (**Applicare γ_M e F_C per il calcolo del coefficiente d'attrito di progetto**) è possibile scegliere un coefficiente di sicurezza γ (e la verifica diviene: $T \leq f \cdot N / \gamma$), composto da due contributi ($\gamma = \gamma_M * F_C$): il coefficiente parziale di sicurezza sui materiali γ_M (differenziato fra Analisi Statica e Analisi Sismica; uguale per volta e piedritti) e il fattore di confidenza F_C (differenziato tra volta e piedritti: per i due sistemi può essere diverso, infatti, il livello di conoscenza conseguito).

E' possibile ignorare tale coefficiente di sicurezza qualora il valore in input del coefficiente d'attrito sia già riferito ad un valore di progetto, direttamente utilizzabile in sede di verifica.

Verifica a Compressione (-1=sì, 0=no): se eseguita viene considerata una resistenza a compressione finita della muratura (§C8A.4).

In una data configurazione di equilibrio stabile, per ogni sezione dell'arco è noto lo sforzo normale, composto - secondo la modellazione adottata in SAV - dai due contributi della biella di estradosso e di quella di intradosso. Lo sforzo normale può essere utilizzato per la stima della tensione di compressione della muratura, da confrontarsi con la resistenza di progetto f_{md} .

La reale distribuzione tensionale nella muratura è incognita, tuttavia è possibile avanzare alcune ipotesi ragionevoli.

In SAV la massima tensione di compressione viene calcolata sull'arco reale attribuendo allo sforzo normale N un diagramma di tensioni lineare (prescindendo dalla resistenza a trazione, la sezione è parzializzata quando l'eccentricità di N è maggiore di $s/6$, s =spessore dell'arco nella sezione di calcolo; il diagramma delle tensioni è trapezoidale se lo sforzo normale è interno al nocciolo d'inerzia, triangolare - quindi con zona reagente minore della sezione - se lo sforzo normale è esterno al nocciolo d'inerzia).

Lo studio della stabilità dell'equilibrio dell'arco non rinforzato può prevedere la formazione di cerniere: in corrispondenza di tali sezioni, la curva delle pressioni è tangente alla superficie dell'arco (esterna o interna) e la tensione di compressione nell'interfaccia tende teoricamente ad infinito. Non vi sarebbe quindi alcuna possibilità di soddisfare la verifica a compressione.

In realtà, è possibile precisare il percorso di verifica con le seguenti considerazioni.

Sperimentalmente, si è visto che in una sezione fessurata - sia essa rinforzata e quindi con apertura contrastata, o non-rinforzata e quindi con apertura libera (cerniera) - le tensioni si spalmano su una quota-parte dello spessore s pari a $s/3$ (laddove una cerniera ideale prevederebbe tensioni infinite, concentrate in una linea).

In SAV, in corrispondenza delle sezioni dove è presente trazione, sia nel caso di rinforzo che non, la massima tensione nella muratura viene calcolata adottando lo schema uniforme (rettangolare), distribuendovi lo sforzo normale agente nella biella compressa. Ciò equivale quindi a supporre che lo schiacciamento della muratura nella realtà non sia 'puntuale' ma interessi uno spessore dell'arco, supposto appunto pari a $s/3$.

Nei sistemi voltati rinforzati tale valutazione è applicata, quindi, su tutte le interfacce interessate dal rinforzo e con concio adiacente soggetto a trazione.

Per le interfacce limitrofe, dove la curva delle pressioni, pur allontanandosi dal bordo, resta ad esso molto vicina con tensioni di calcolo assai elevate, è possibile adottare lo stesso schema di schiacciamento. In SAV, una apposita opzione di calcolo:

- Nei conci totalmente compressi, la tensione di compressione limite viene calcolata con diagramma rettangolare su $1/3$ dello spessore. Questa distribuzione di tensioni è sempre ipotizzata nelle interfacce con sforzo di trazione, con cerniera (per archi non rinforzati) o in presenza di rinforzi
-

consente il controllo che la tensione non superi il valore limite ottenuto ripartendola in un diagramma rettangolare di ampiezza $s/3$; tale controllo viene convenzionalmente svolto quando la sezione si parzializza (centro di pressione esterno al nocciolo d'inerzia).

In definitiva, il calcolo della tensione di compressione e la conseguente verifica di sicurezza nei confronti della resistenza di progetto f_{md} è possibile anche nei casi di archi non rinforzati.

L'esecuzione della verifica a compressione rende lecita l'adozione di un fattore di confidenza F_C competente all'effettivo livello di conoscenza conseguito (come da Normativa vigente: cfr. §C8A.4.2.2).

Non eseguire la verifica a compressione equivale ad assumere per l'arco una resistenza a compressione infinita e conseguentemente diviene obbligatoria, secondo le Norme citate, l'applicazione del fattore di confidenza più sfavorevole (competente a LC1: 1.35) indipendentemente dal reale livello di conoscenza. Tale F_C entrerà in gioco nella valutazione della capacità sismica della struttura, secondo le formulazioni dell'analisi cinematica (§C8A.4.2.2).

Coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza della muratura γ_M :

γ_M e F_C vengono applicati per il calcolo dei valori di progetto della resistenza a compressione, e (se richiesto) del coefficiente d'attrito. Conformemente alla Normativa vigente, il valore di γ_M viene differenziato fra Analisi Statica (§4.5.6.1) e Analisi Sismica (§7.8.1.1), ma è unico per tutta la struttura esaminata (Volta ed eventuali Piedritti). I valori consueti sono 2.00 per l'Analisi Sismica, e un valore compreso fra 2.00 e 3.00 per l'Analisi Statica: il valore 3.00 pone la verifica a favore di sicurezza. Il valore di γ_M non è differenziato tra volta e piedritti.

> Per Analisi Sismica [§C8A.4.2.3]

Coeff. part. modale Gamma, **Primo periodo** di vibrazione T1 (sec)

> Parametri Vari

Non eseguire l'analisi dei piedritti (sì / no). Selezionando questa opzione, l'elaborazione di calcolo si limiterà alla sola struttura voltata. Se i piedritti sono soggetti a verifica, essi sono considerati sottoposti a carico sia in sommità per le azioni di imposta provenienti dagli archi, sia per forze aggiuntive, specificabili nelle CCE; le forze aggiuntive potrebbero per esempio provenire da archi di campate adiacenti.

La volta può essere divisa in più archi ideali, mentre i piedritti sono sempre singoli, uno a sinistra e l'altro a destra. **L'analisi dei piedritti** non viene eseguita contemporaneamente alla volta su di essi impostata, ma dopo la risoluzione della volta stessa. **La verifica dei piedritti non è eseguita se la volta non è stabile**, in quanto non esiste un campo di azioni ammissibili provenienti dalla volta.

Per i piedritti (elementi strutturali verticali suddivisi in conci) vengono calcolati sforzo normale, taglio e momento direttamente a partire dalle azioni applicate dalla volta, dai pesi propri e dai carichi aggiuntivi sui piedritti stessi. Le verifiche di stabilità (curva delle pressioni interna alla geometria), ad attrito (taglio inferiore al limite di scorrimento) e a compressione vengono svolte in modalità del tutto analoghe alle corrispondenti verifiche sulla volta.

Verifiche in fondazione: le azioni giungono anche in fondazione, per determinare se la fondazione è: interamente compressa, parzialmente compressa o ribaltata. Nei risultati, viene fornita una tensione massima sul terreno che può essere confrontata con la capacità portante. Tale confronto non è automaticamente disponibile in SAV e deve essere condotto dall'Utente: può essere utilizzato l'Approccio 1 previsto dal D.M. 14.1.2008.

> Per Rinforzi in FRP

Per i Rinforzi in FRP, la larghezza dei nastri può essere ottimizzata, progettandola in base agli sforzi di trazione risultanti dal calcolo, e alle caratteristiche del rinforzo stesso (spessore, resistenza a trazione di progetto). E' inoltre possibile specificare una larghezza minima del nastro. Nel caso che l'ottimizzazione della larghezza del nastro non sia selezionata, la larghezza verrà posta automaticamente pari alla profondità dell'Arco Ideale.

Ottimizzare larghezza dei nastri (-1=sì / 0=no), **Larghezza minima** dei nastri (cm).

Progettare la disposizione dei nastri imponendo al moltiplicatore di collasso (corrispondente alla resistenza a trazione dei rinforzi) le seguenti condizioni:

- per le combinazioni di carico verticali (Analisi Statica): progettazione per i carichi in input (moltiplicatore di collasso in direzione verticale ≤ 1.000);
- per le combinazioni sismiche (Analisi Sismica): progettazione per il moltiplicatore orizzontale specificato in input:

per comprendere il significato di questa opzione, si consideri che per i rinforzi in FRP SAV esegue un calcolo di progetto. Ciò significa che in base ai dati della struttura voltata e delle fibre di rinforzo, il moltiplicatore di collasso a trazione (sia in direzione verticale che orizzontale) viene calcolato disponendo i nastri in modo da ottenere la massima resistenza possibile. Ciò implica che in almeno un concio il nastro occupi tutta la profondità: oltre tale misura non è infatti possibile estenderlo, e quindi un ulteriore incremento di moltiplicatore non potrebbe essere sostenuto.

Se il moltiplicatore di collasso orizzontale complessivo coincide con quello determinato dalla resistenza a trazione, la conseguente verifica sismica cinematica, con calcolo della capacità in termini di PGA e di T_R , viene di conseguenza svolta ipotizzando il posizionamento migliore possibile dei nastri, compatibilmente con i dati geometrici e sulle fibre.

Può darsi che tale intervento innalzi l'Indicatore di Rischio Sismico IRS oltre un valore strettamente richiesto (p.es. si può richiedere che non sia superato $IRS=0.80$ - come in alcuni progetti di ricostruzione post-sisma - oppure $IRS \leq 1.00$ per conseguire l'adeguamento con l'intervento minimo necessario). Al fine di contenere l'aumento dell'Indicatore, o - in altre parole - per dimensionare un progetto di rinforzo meno oneroso è possibile utilizzare l'opzione che collega il moltiplicatore a collasso a trazione al moltiplicatore orizzontale in input: se tale opzione è attiva, il moltiplicatore di collasso a trazione non supererà il moltiplicatore orizzontale in input e la conseguente verifica in Analisi Sismica Cinematica condurrà a miglioramenti più contenuti. Contemporaneamente, nei confronti dei carichi verticali il progetto del rinforzo in FRP verrà eseguito limitando l'utilizzo delle fibre al carico verticale in input (ciò equivale ad un moltiplicatore di collasso 1.000 in direzione verticale).

IMPOSTAZIONI

> Discretizzazione curve

Passo angolare di poligonalizzazione (gradi sessagesimali) ($^{\circ}$) per: Archi di Cerchio, Archi di Ellisse

> Tolleranze numeriche

Tolleranza per operazioni su matrici

Tolleranza $||RNE|| / ||F||$: R.N.E. = vettore dei residui non equilibrati, per il singolo passo del procedimento iterativo; F = vettore dei termini noti, o: forze applicate. In condizioni di equilibrio: $||R.N.E.|| / ||F|| \leq$
Tolleranza

> Precisione Forze

Valori minimi da considerare per la definizione dei carichi nei conci:

Minima forza da considerare (kN - kgf), Minimo momento da considerare (kN m - kgf m)

7. GRAFICA

Le due finestre grafiche sono fra loro indipendenti e consentono la contemporanea visualizzazione del prospetto, della pianta o della configurazione 3D; ognuna di queste elaborazioni può essere indifferentemente visualizzata in una delle due finestre grafiche.

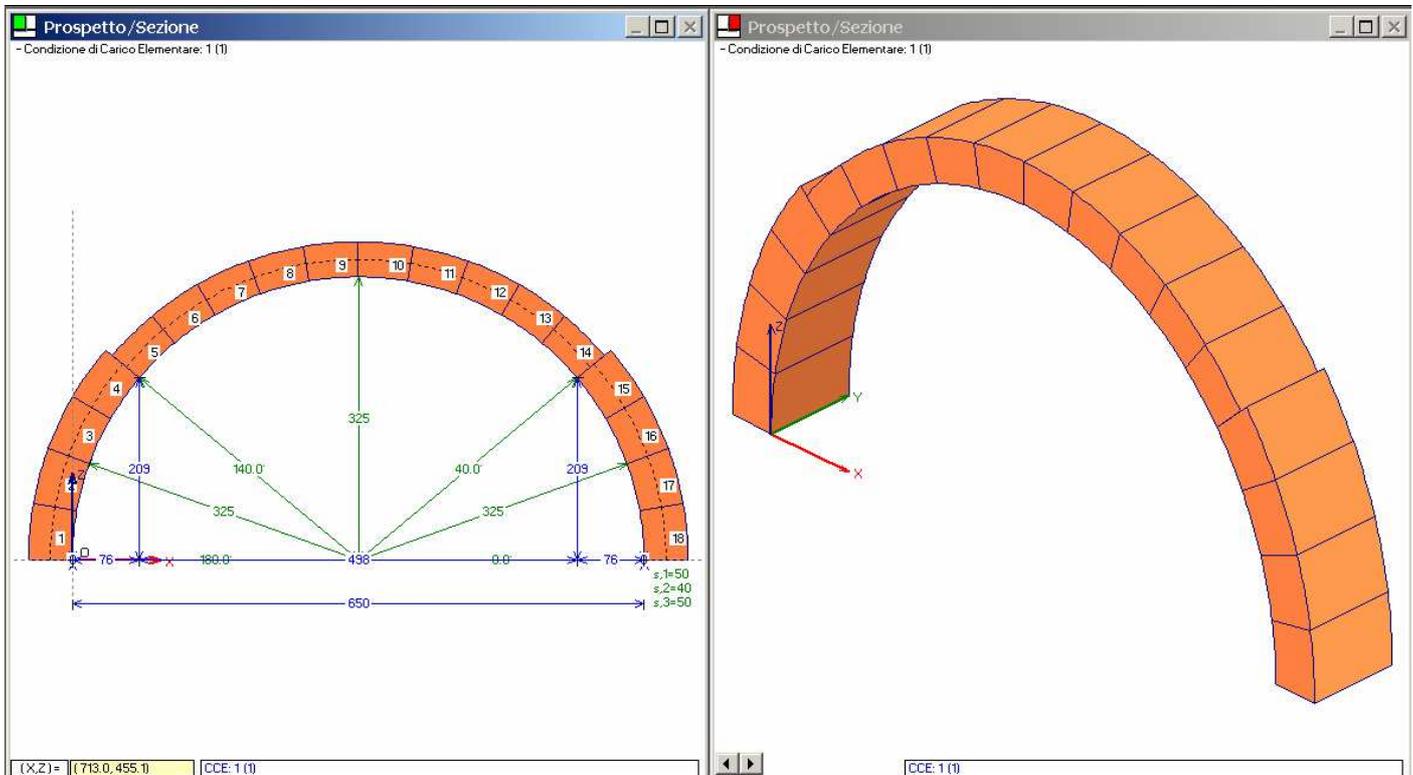


Fig. 7.1. Finestre grafiche

I tasti con cui attivare immediatamente il cambio di disegno sono presenti nella barra degli strumenti laterale destra:

-  Prospetto / Sezione (2D)
-  Vista 3D in assonometria
-  Vista 3D in prospettiva
-  Pianta (2D)

Il pulsante grafico agisce sulla finestra corrente. In alternativa, può essere aperta la finestra 'Tipo di disegno' (). In modalità 3D (assonometria o prospettiva), è disponibile nella finestra grafica il pulsante  che consente la variazione dell'angolo del punto di vista (rotazione). La variazione del punto di vista può essere effettuata in modo immediato utilizzando la rotellina del mouse; gli effetti sui parametri del punto di vista sono i seguenti:
 SHIFT (↑) + Rotellina = angolo (rotazione); CTRL + Rotellina = altezza (elevazione);
 SHIFT (↑) + CTRL + Rotellina = distanza; Rotellina (da sola) o ALT + Rotellina = zoom (ingrandimento/riduzione).

Le varie opzioni grafiche di SAV si riferiscono alla rappresentazione di dati e di risultati delle analisi. In particolare, vengono eseguite importanti post-elaborazioni (ad esempio, la rappresentazione della curva delle pressioni con le eventuali cerniere di apertura).

In un dato momento, le finestre grafiche (1) e (2) possono essere entrambe visualizzate, ma solo una delle due è la finestra attiva: la si riconosce dal bordo del titolo in evidenza (l'altra lo ha a luminosità ridotta).

L'icona della finestra grafica può essere verde o rossa a seconda che la finestra sia coerente con i dati attuali, o meno. Generalmente, nel caso di icona rossa il disegno si riferisce ad una configurazione che successivamente è stata variata e che deve essere aggiornata con la riesecuzione dell'analisi.

Le opzioni di rappresentazione di dati e risultati sono rese disponibili attraverso i **Parametri di disegno** () , cui è dedicato il p. 7.2.2.

I comandi del menu Immagine provvedono alla **gestione dell'immagine** (zoom, pan, ecc.). Attraverso la barra degli strumenti possono essere immediatamente gestiti i comandi grafici più frequentemente utilizzati (operazioni di zoom, pan, ecc.). Ad ogni disegno è associata una **Legenda**, visualizzabile attraverso l'apposito comando del menu Finestra.

Tutti i disegni (dati, statici e sismici) caratterizzati dai parametri correnti, **sono esportabili su file DXF** per una successiva rielaborazione da programmi di CAD. E' inoltre possibile specificare la scala dei files DXF in output.

7.1. RAPPRESENTAZIONE DELL'ARCO

L'arco può essere rappresentato in 4 modi diversi, selezionabili direttamente dalla barra degli strumenti o dalla finestra dei Parametri di Disegno:

 arco completo; arco completo con conci; singolo concio; nessun concio. La rappresentazione più utilizzata è quella dell'arco completo con conci, ma anche il singolo concio è molto utile quando si desidera indagare più a fondo sulla distribuzione delle sollecitazioni derivanti dall'analisi. Il disegno del Singolo concio propone in luminosità ridotta il resto della struttura qualora sia selezionata la modalità Wireframe (, barra strumenti laterale sinistra).

ARCO COMPLETO

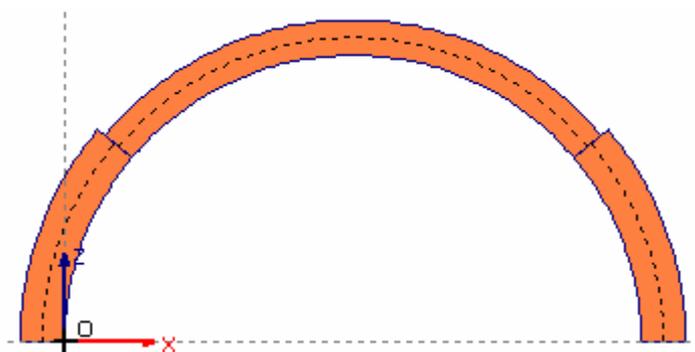


Fig. 7.1.1. Rappresentazione dell'arco completo

L'arco completo rappresenta l'arco senza la suddivisione in conci. Le tipologie che prevedono più archi elementari a formazione dell'arco complessivo, cioè: il sesto acuto, il policentrico e l'arco definito per punti, in questa modalità grafica presentano la suddivisione negli archi elementari (un esempio è riportato in fig. 7.1.1).

Ne consegue, ad esempio, che l'arco definito per punti può quindi avere la stessa rappresentazione sia come 'arco completo' sia come 'arco completo con conci' in quanto ogni concio coincide con un tratto di schematizzazione dell'arco (avendo per esempio utilizzato la discretizzazione con: Numero di conci = 1, nella scheda Impostazioni dei Parametri di Calcolo; si ricorda infatti che per le tipologie composte da più archi elementari il numero di conci con cui si intende suddividere l'arco si riferisce ad ognuno degli archi elementari).

L'arco completo' può essere immediatamente rappresentato utilizzando il pulsante grafico  della barra degli strumenti.

Il disegno dell'Arco completo (senza la suddivisione in conci) è disponibile solo in modalità grafica 2D.

ARCO COMPLETO CON CONCI

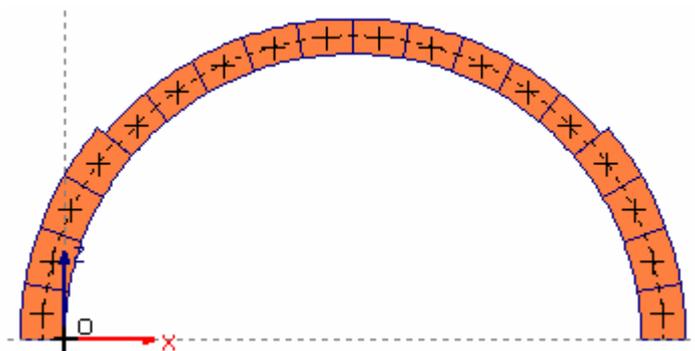


Fig. 7.1.2. Rappresentazione dell'arco completo con conci

L'arco completo con conci è la rappresentazione più utilizzata per la visualizzazione contemporanea sia della struttura complessiva sia della sua suddivisione. Fra le varie opportunità, è possibile evidenziare anche le posizioni dei baricentri dei conci (attraverso l'apposita opzione della scheda Geometria della finestra Parametri di Disegno); le coordinate dei baricentri sono riportate nei dati (in sola lettura) della finestra Conci. Nella fig. 7.1.2, un arco viene rappresentato nella forma 'arco completo con conci' e sono anche evidenziati i baricentri dei conci. L'arco completo con conci può essere immediatamente rappresentato utilizzando il pulsante grafico  della barra degli strumenti.

SINGOLO CONCIO

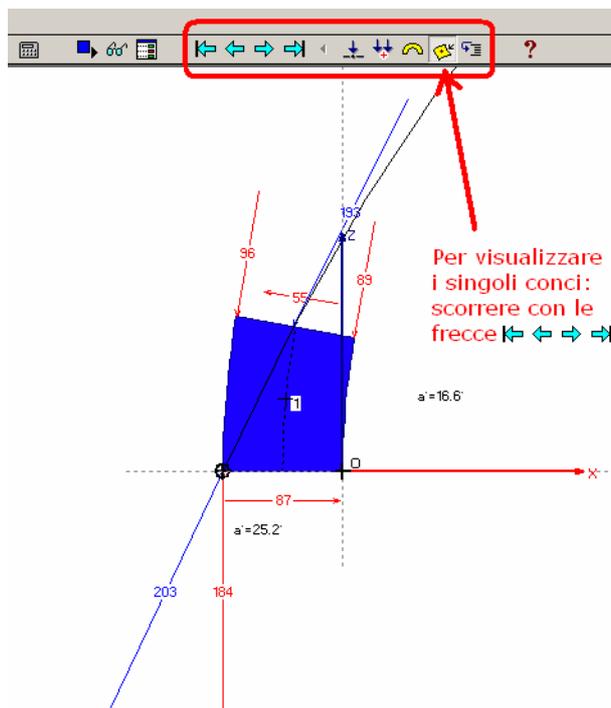


Fig. 7.1.3. Rappresentazione del singolo concio

La rappresentazione del singolo concio può essere utile soprattutto quando si desidera indagare più a fondo sulla distribuzione delle sollecitazioni derivanti dall'analisi. In particolare, l'osservazione del primo e dell'ultimo concio consente la lettura (visionando i risultati dell'Analisi Statica o della Sismica) delle reazioni d'imposta (spinte sui piedritti), uguali e contrarie alle azioni d'incastro di tali conci estremi.

L'uso dei pulsanti grafici indicati in fig. 7.1.3 permette facilmente il passaggio alla visualizzazione di un altro concio, fino ad individuare quello desiderato.

La rappresentazione per 'singolo concio' può essere immediatamente ottenuta utilizzando il pulsante grafico  della barra degli strumenti. Il disegno del Singolo concio propone in luminosità ridotta il resto della struttura qualora sia selezionata la modalità Wireframe (, barra strumenti laterale sinistra).

7.2. Menu OPZIONI

Tipo di Disegno... (**F12**) [Barra degli Strumenti: ] = Apre una finestra di dialogo, nella quale è possibile selezionare il tipo di disegno, e le cui funzionalità sono descritte nel p. 7.2.1.

Parametri di Disegno... (**F11**) [Barra degli Strumenti: ] = Apre una finestra di dialogo, nella quale è possibile selezionare i parametri di disegno, e le cui funzionalità sono descritte nel p. 7.2.2.

Carica Parametri di Disegno Standard = Reinizializza i parametri di disegno che determinano le modalità di rappresentazione grafica, utilizzando le impostazioni predefinite di SAV. E' anche possibile in ogni momento dell'utilizzo di SAV salvare i parametri di disegno correnti come 'Parametri Utente' per richiamarli successivamente.

Punto di Vista Standard, Tipo di Proiezione 3D = Determinano le modalità di visualizzazione 3D.

7.2.1. TIPO DI DISEGNO

La finestra di dialogo per la scelta del Tipo di Disegno presenta l'elenco dei tipi di rappresentazione grafica, organizzati in: Prospetto / Sezione, Vista 3D: Assonometria o Prospettiva, Pianta. I comandi sono ancor più agevolmente applicabili utilizzando i corrispondenti pulsanti della barra degli strumenti.



Fig. 7.2.1. Tipo di disegno

7.2.2. PARAMETRI DI DISEGNO

Nelle schede della finestra Parametri di Disegno, apribile dal comando  della barra strumenti superiore, è possibile impostare numerose funzioni di visualizzazione delle rappresentazioni grafiche. Molti comandi corrispondono a pulsanti grafici presenti nelle barre degli strumenti.

Le finestre grafiche (1) e (2) consentono Parametri di Disegno indipendenti; questo risulta particolarmente utile per visualizzare contemporaneamente diverse rappresentazione dei dati e/o dei risultati.

La finestra 'Parametri di Disegno' si compone di **quattro schede (Geometria, Carichi, Immagine, Elaborazioni)**.

Nella scheda **Geometria**, si possono impostare le opzioni di rappresentazione dei dati dell'arco. Ad esempio, per visualizzare la numerazione dei conci, selezionare l'opzione corrispondente. Come nelle schede successive, più opzioni possono essere modificate prima di confermare con OK ed aggiornare quindi il disegno.

La cornice 'Rappresentazione dell'arco' consente la scelta della modalità di rappresentazione: arco completo, oppure: arco completo con conci, oppure: singolo concio, o infine: nessun concio. Queste opzioni possono essere direttamente attivate dalla barra degli strumenti attraverso i seguenti pulsanti grafici:

 = arco completo;

 = arco completo con conci;

 = singolo concio. Il disegno del Singolo concio propone in luminosità ridotta il resto della struttura qualora sia selezionata la modalità Wireframe (, barra strumenti laterale sinistra);

 = nessun concio.

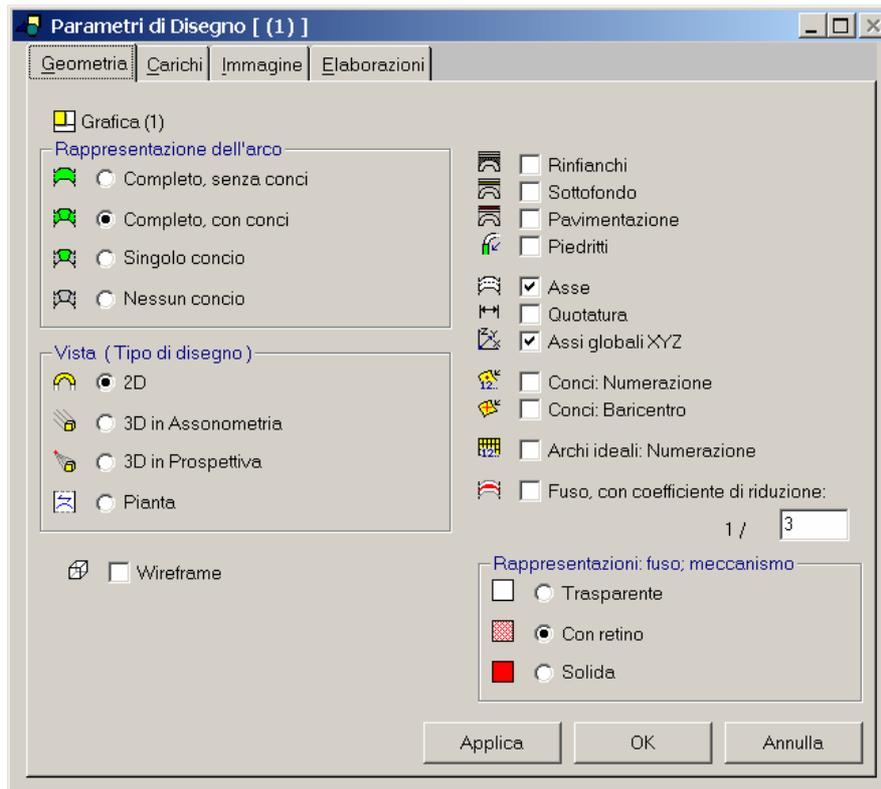


Fig. 7.2.2. Parametri di Disegno: scheda Geometria

Nella scheda **Carichi** si possono impostare le opzioni di rappresentazione dei carichi agenti, definiti nelle CCE. Come nelle altre schede, più opzioni possono essere modificate prima di confermare con OK ed aggiornare quindi il disegno.

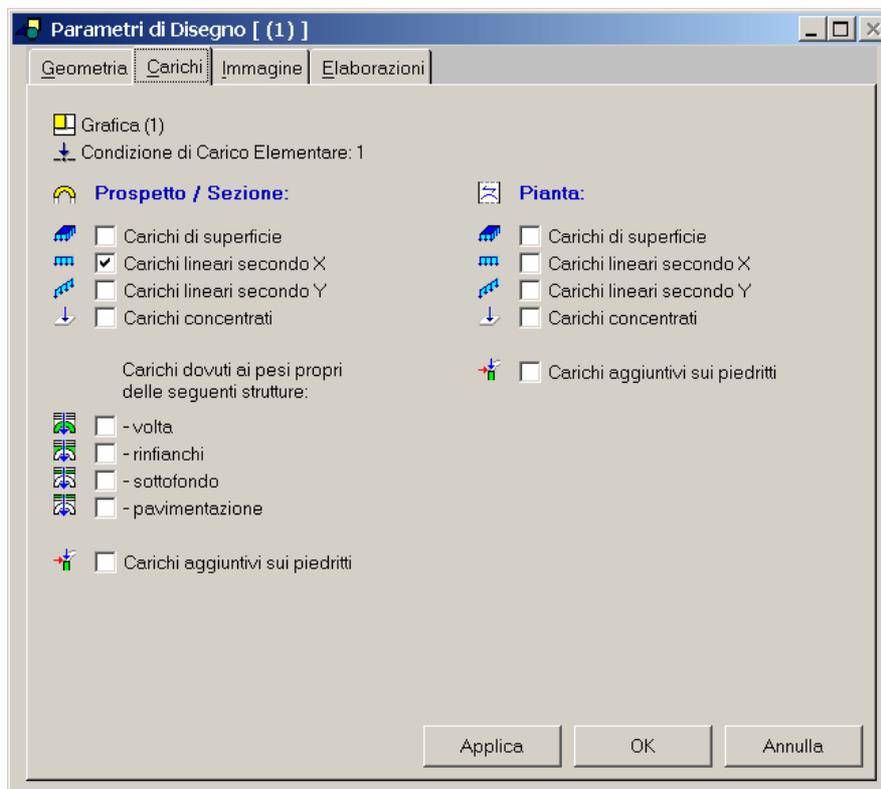


Fig. 7.2.3. Parametri di Disegno: scheda Carichi

La scheda **Immagine** consente la gestione dei colori e di altre utilità grafiche.

La 'Griglia' consente un immediato riferimento della struttura al sistema di riferimento XZ; le distanze, comunque, possono essere misurate direttamente con i comandi del menu Immagine delle finestre grafiche.

'Percentuale Riduzioni / Ingrandimenti': questo parametro influisce sui comandi Riduci e Ingrandisci delle finestre grafiche.

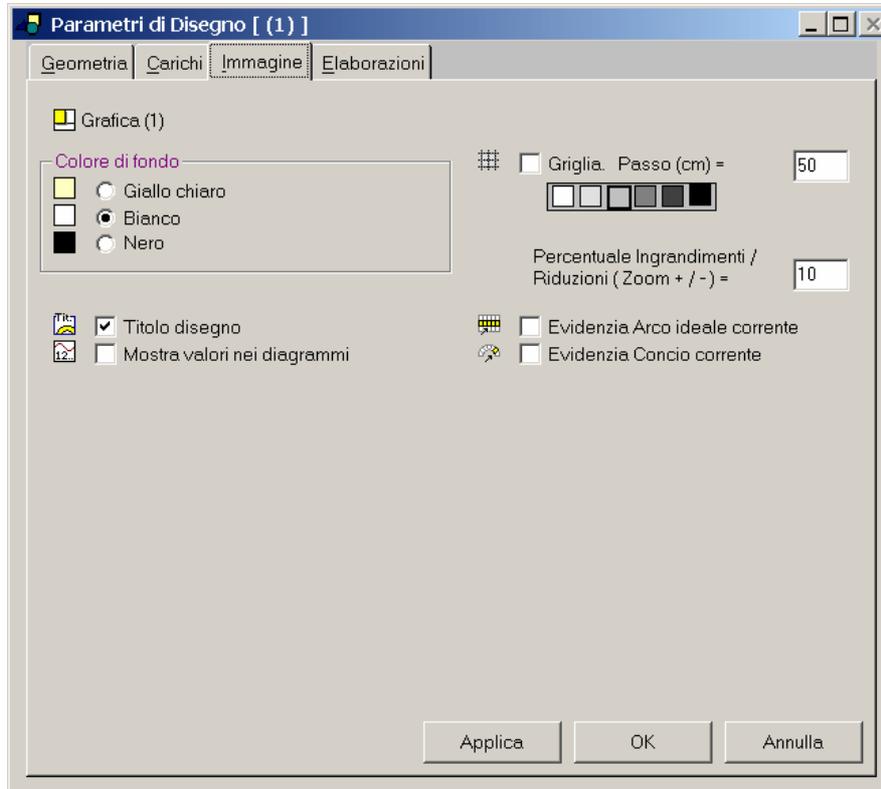


Fig. 7.2.4. Parametri di Disegno: scheda Immagine

La scheda **Elaborazioni** propone opzioni particolarmente importanti per la consultazione dei risultati dell'analisi. Questi comandi consentono il disegno dei diagrammi, la scelta dell'analisi rappresentata, l'impostazione delle scale di rappresentazione grafica.

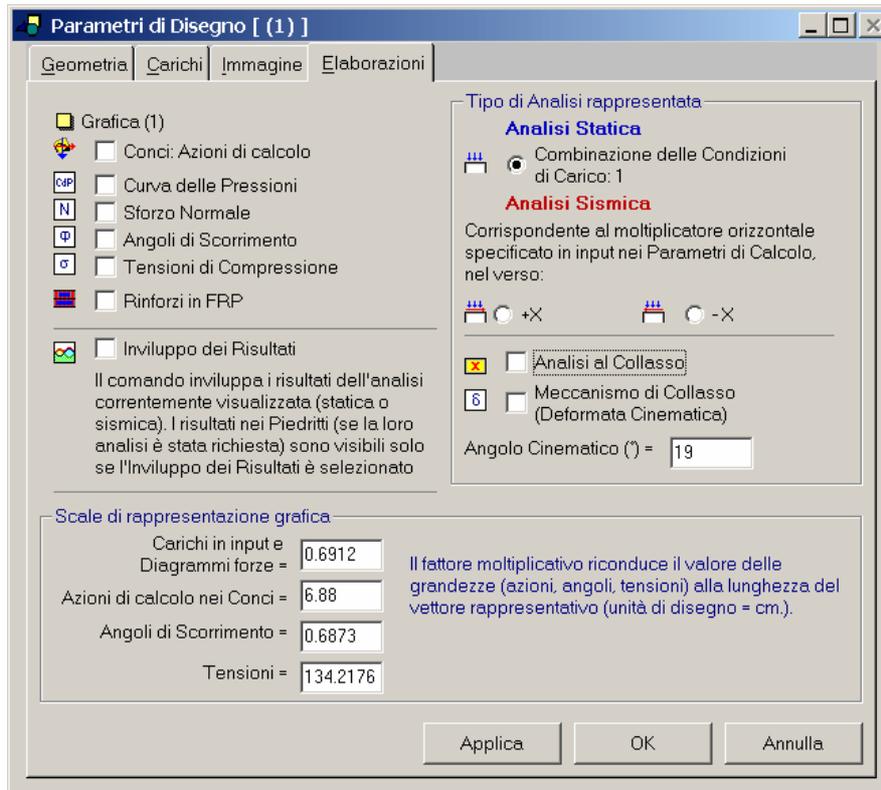


Fig. 7.2.5. Parametri di Disegno: scheda Elaborazioni

7.3. DIAGRAMMI DI RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I risultati, sia statici sia sismici, sono organizzati in tipi di diagrammi che permettono un'analisi completa della configurazione strutturale dell'arco. I diagrammi sono disponibili, come gli altri tipi di disegno, equivalentemente in una delle due finestre grafiche. Visualizzando diagrammi diversi nelle due finestre grafiche è possibile valutare contemporaneamente più aspetti del comportamento strutturale.

I diagrammi, descritti ai paragrafi seguenti, sono direttamente selezionabili attraverso i pulsanti grafici della barra degli strumenti.

7.3.1. CURVA DELLE PRESSIONI

Questo diagramma, selezionabile sia dalla finestra 'Tipo di disegno' , sia direttamente dal pulsante , mostra la curva delle pressioni, ossia il poligono funicolare in equilibrio con i carichi applicati, determinato dal procedimento di calcolo.

La curva delle pressioni è effettivamente valida solo se il procedimento di calcolo è convergente; diversamente, non rappresenta altro che una valutazione numerica del processo iterativo, senza significato fisico.

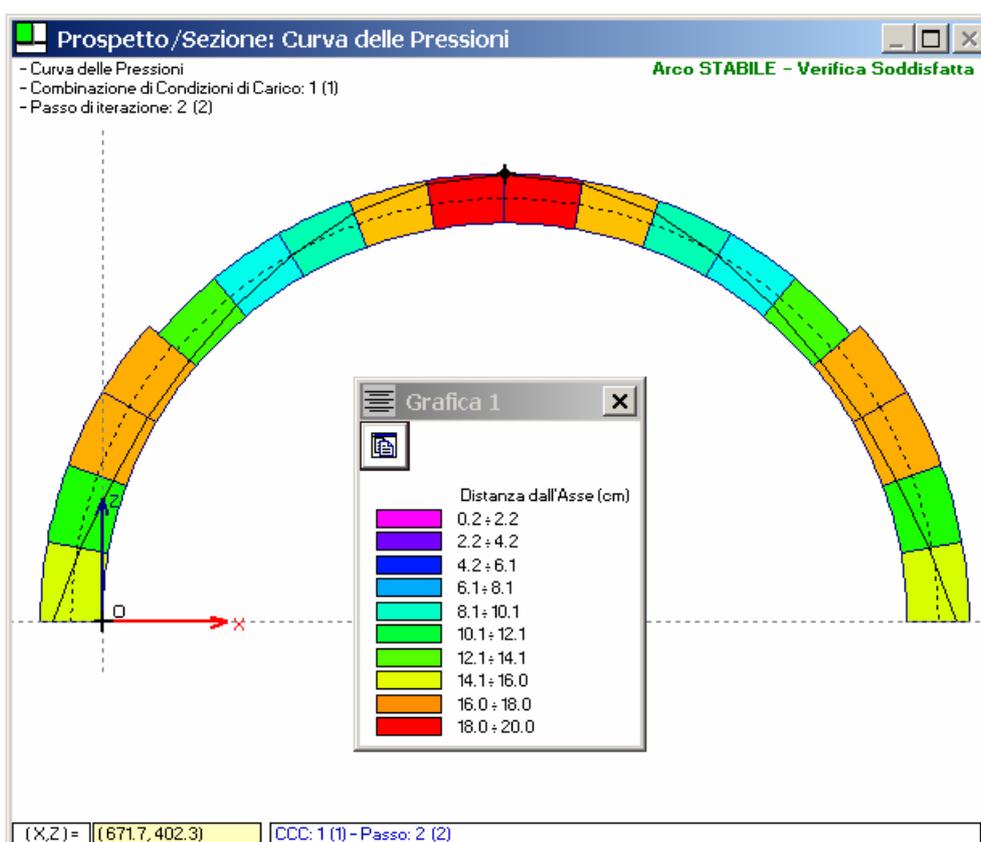


Fig. 7.3.1. Curva delle Pressioni per un caso di arco non rinforzato

In fig. 7.3.1 è riportato un esempio di curva delle pressioni, insieme alla relativa legenda. Ricordiamo che la curva delle pressioni è quel particolare poligono funicolare che in ciascun lato ha la stessa retta d'azione della risultante delle forze che precedono (o seguono) il lato stesso.

È interessante visualizzare, insieme alla curva delle pressioni, l'asse dell'arco, poiché laddove la curva si discosta maggiormente dall'asse, gli sforzi normali generano maggiori effetti flessionali (la legenda riporta in scala colorata la distanza dall'asse). Nelle interfacce dove la curva delle pressioni passa per l'intradosso o l'estradosso, lo sforzo normale si concentra sul bordo e si forma una cerniera di apertura. L'arco è in equilibrio fino a un massimo di tre cerniere (l'arco della fig. 7.3.1 ne presenta solo una, in chiave), in quanto può al massimo perdere tre gradi di iperstaticità fino a diventare isostatico. Un'ulteriore cerniera corrisponderebbe alla formazione di un meccanismo (struttura labile), con perdita di stabilità (e questo è il significato della non convergenza del procedimento numerico).

Per archi non rinforzati, la curva delle pressioni di un arco stabile passa necessariamente nell'interno della forma geometrica dell'arco (e solo localmente, come detto, al bordo - se si forma una cerniera). Ciò corrisponde alla

necessità di trasmettere fra i conci in muratura solo sforzi normali di compressione. Se infatti la retta d'azione dello sforzo normale in una sezione fosse esterna alla sagoma dell'arco, l'equilibrio dovrebbe necessariamente comportare l'esistenza di una forza di trazione dalla parte opposta (secondo la schematizzazione adottata in SAV, nella biella opposta a quella compressa), fatto inaccettabile per le ipotesi di comportamento della muratura.

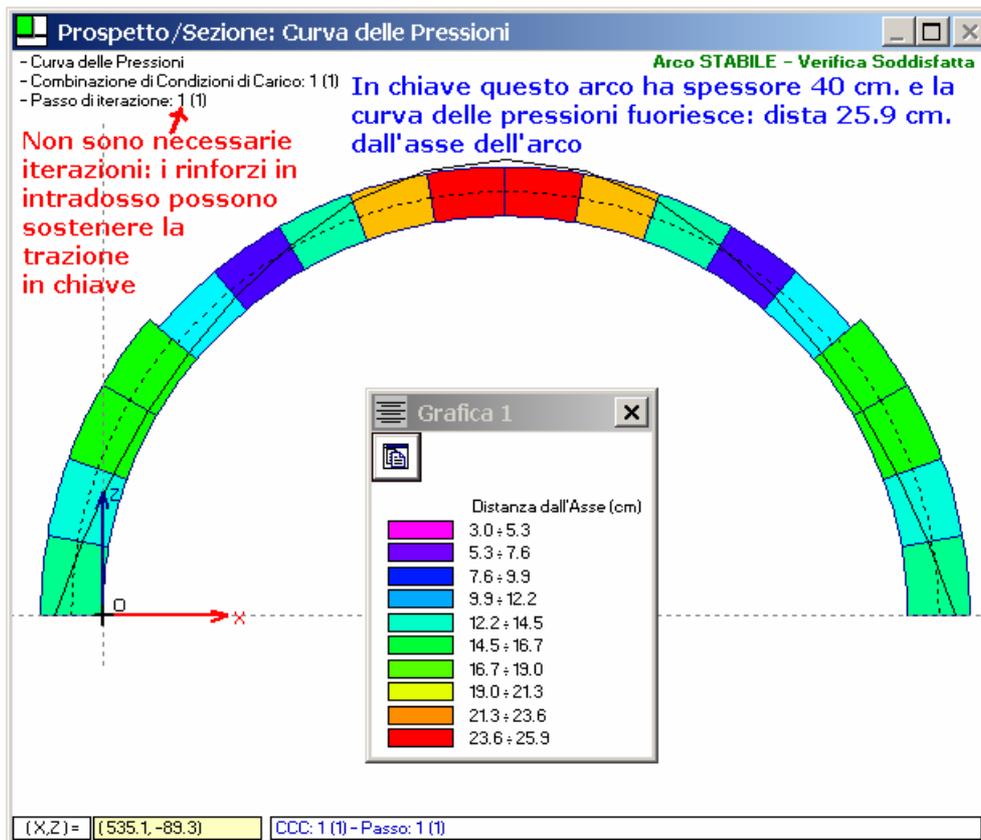


Fig. 7.3.2. Curva delle Pressioni per un arco rinforzato in intradosso

Nel caso degli archi consolidati con rinforzi di superficie (cappa in cls o membrane in FRP), invece, gli sforzi di trazione sono ammissibili dalla parte consolidata e quindi può accadere che la curva delle pressioni fuoriesca dalla sagoma dell'arco, in condizioni di stabilità, dalla parte opposta alla superficie consolidata. Un caso del genere è rappresentato in fig. 7.3.2, dove un arco circolare a tutto sesto (lo stesso di fig. 7.3.1) è stato consolidato con nastri in FRP in intradosso.

7.3.2. DIAGRAMMA SFORZO NORMALE

Questo diagramma, selezionabile sia dalla finestra 'Tipo di disegno' , sia direttamente dal pulsante , mostra il diagramma dello sforzo normale lungo lo sviluppo dell'arco, costruito ponendo le ordinate con riferimento all'asse dell'arco.

I valori numerici degli sforzi normali arricchiscono il disegno e possono essere evidenziati oppure rimossi (ad esempio, per visualizzare meglio l'andamento del diagramma) utilizzando il pulsante grafico della barra degli strumenti  ('Mostra valori nei diagrammi').

In base alla schematizzazione adottata nel modello di calcolo (costituito, come è noto dalla Teoria [cfr. Vol. 1 del Manuale di SAV], da due bielle - una in intradosso e l'altra in estradosso), per un arco in sola muratura (non rinforzato) lo sforzo normale agente su una sezione (cioè, su un'interfaccia) è dato dalla somma degli sforzi normali agenti nelle due bielle.

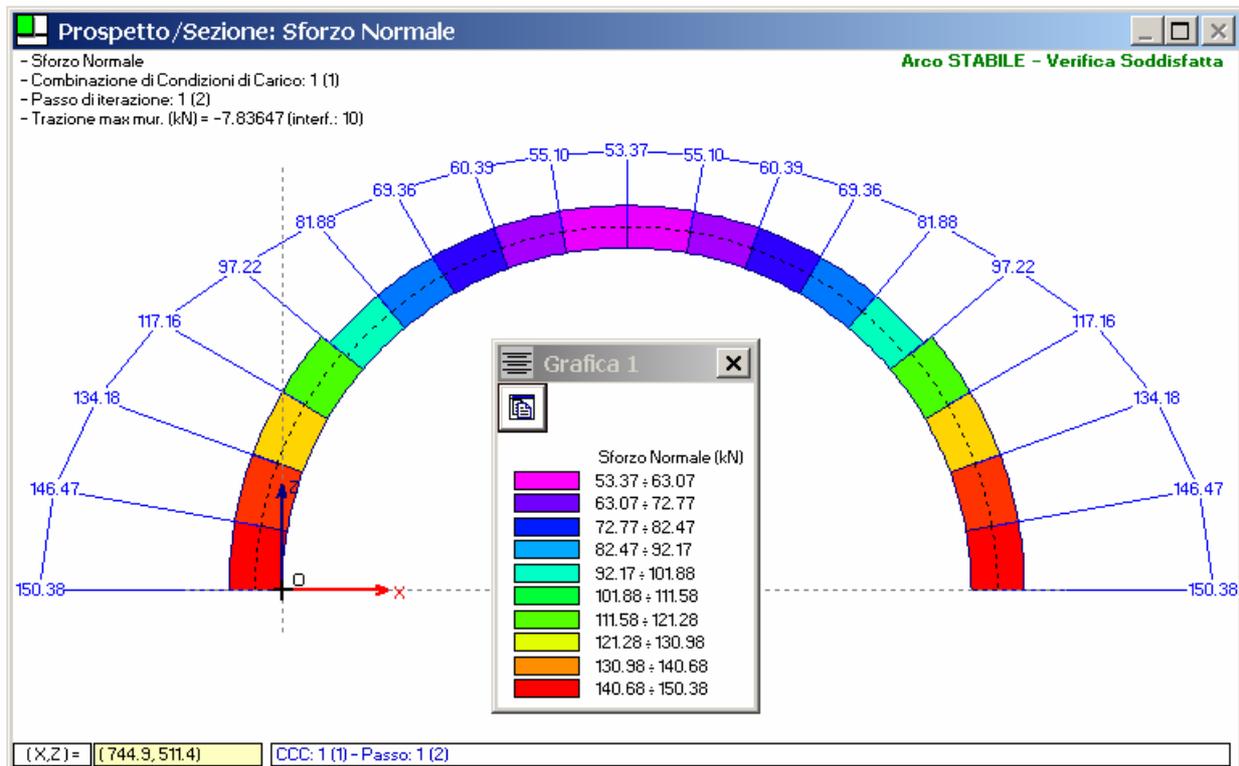


Fig. 7.3.3. Diagramma Sforzo Normale per un caso di arco in sola muratura (cioè non rinforzato)

Per archi consolidati, la schematizzazione a fondamento del modello di calcolo viene modificata nel senso che alla biella posta dalla parte rinforzata è consentito entrare in trazione.

Per questo tipo di archi, la rappresentazione del diagramma dello sforzo normale si modifica in modo tale che vengono rappresentati contemporaneamente due diagrammi: quello inerente la parte rinforzata (dove possono esistere sforzi di trazione, evidenziati in rosso) e quello riguardante la muratura, che è caratterizzato da soli sforzi di compressione o al più da valori nulli laddove è prevista la formazione di una cerniera. Un esempio è riportato in fig. 7.3.4, riferita allo stesso arco la cui curva delle pressioni è rappresentata in fig. 7.3.2.

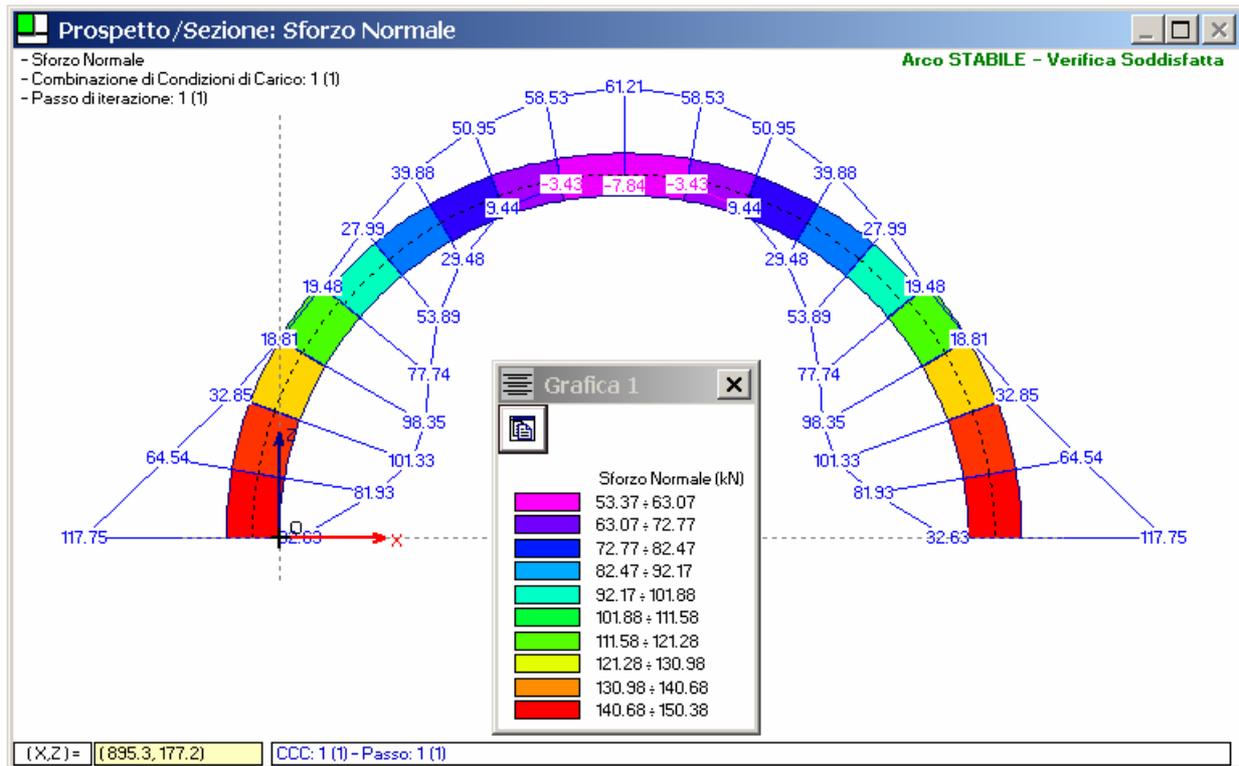


Fig. 7.3.4. Diagramma Sforzo Normale per un caso di arco rinforzato in intradosso

Gli sforzi normali nella muratura sono utilizzati anche per il calcolo delle tensioni di compressione nella muratura stessa (il diagramma delle tensioni di compressione è descritto nel p. 7.3.4).

Più esattamente, la massima tensione di compressione viene calcolata attribuendo allo sforzo normale N un diagramma di tensioni lineare (prescindendo dalla resistenza a trazione, la sezione è parzializzata quando l'eccentricità di N è maggiore di $s/6$, s =spessore dell'arco nella sezione di calcolo; il diagramma delle tensioni è trapezoidale se lo sforzo normale è interno al nocciolo d'inerzia, triangolare - quindi con zona reagente minore della sezione - se lo sforzo normale è esterno al nocciolo d'inerzia).

Per le verifiche ad attrito, in corrispondenza di ogni interfaccia lo sforzo normale di compressione viene riferito al taglio per eseguire il confronto con il coefficiente d'attrito di progetto. Lo sforzo normale di compressione è pari alla somma degli sforzi in intradosso e in estradosso qualora entrambe le bielle ortogonali d'interfaccia siano compresse, altrimenti è dato dallo sforzo nella biella compressa.

7.3.3. DIAGRAMMA ANGOLI DI SCORRIMENTO

Questo diagramma, selezionabile sia dalla finestra 'Tipo di disegno' , sia direttamente dal pulsante , mostra il diagramma degli angoli di scorrimento lungo lo sviluppo dell'arco, costruito ponendo le ordinate con riferimento all'asse dell'arco.

I valori numerici degli angoli di scorrimento arricchiscono il disegno e possono essere evidenziati oppure rimossi (ad esempio, per visualizzare meglio l'andamento del diagramma) utilizzando il pulsante grafico della barra degli strumenti  ('Mostra valori nei diagrammi').

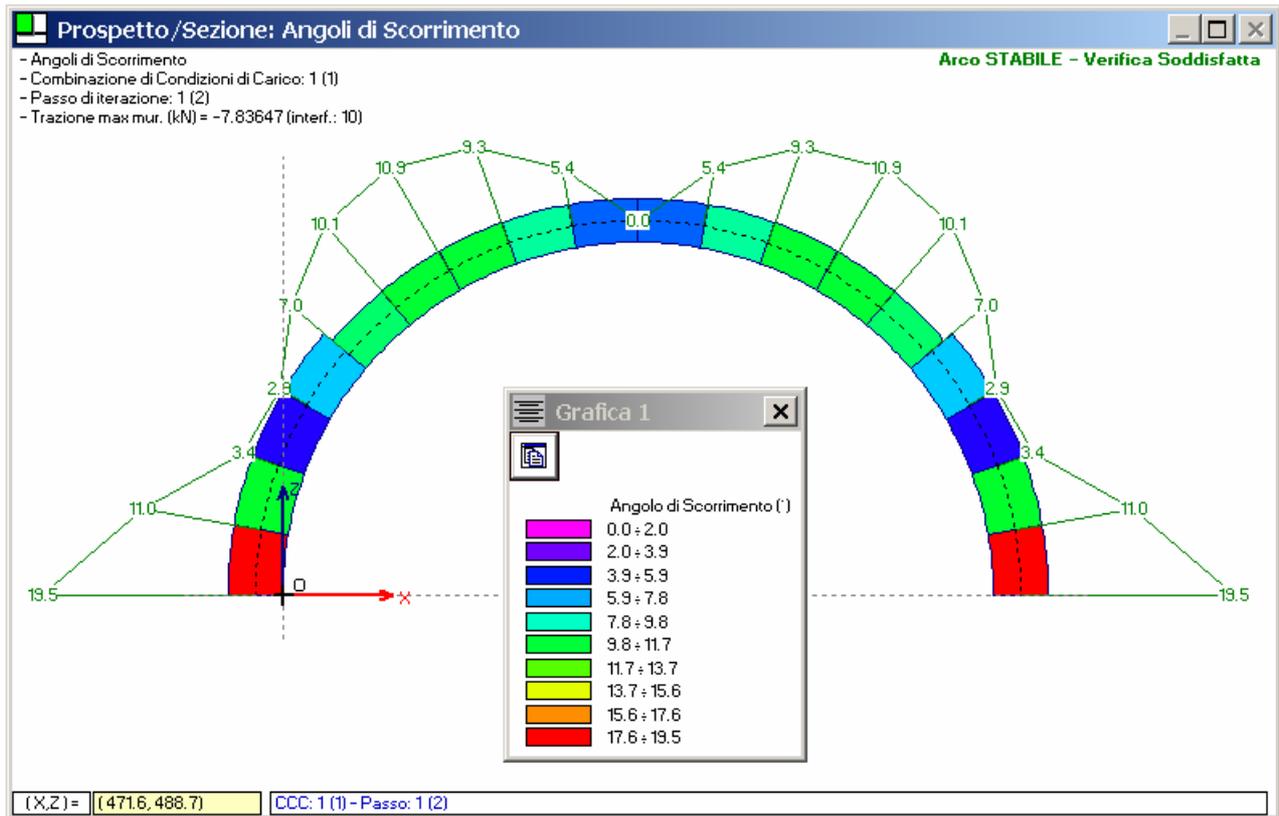


Fig. 7.3.5. Diagramma Angoli di Scorrimento

Ricordiamo che per le Verifiche ad attrito (scorrimento nei giunti determinato dal taglio), il valore del taglio T dovrà essere sempre inferiore alla forza di attrito $T \leq f_d \cdot N_C$, dove f_d è il coefficiente di attrito di progetto fra conci contigui, cioè in corrispondenza dei giunti, e N_C è lo sforzo normale di compressione: se la sezione è interamente compressa, N_C è dato dalla somma degli sforzi nelle due bielle ortogonali d'interfaccia, altrimenti N_C è fornito dalla sola biella compressa. A resistere al taglio non è infatti l'azione interna sforzo normale N , ma la risultante delle compressioni.

L'angolo d'attrito φ è legato al coefficiente d'attrito dalla relazione: $f = \text{tg } \varphi$. Verificare che sia: $T \leq f \cdot N_C$ significa verificare che i lati della curva delle pressioni formino un angolo minore di φ con le normali alle sezioni dell'arco se non si vuole avere uno scorrimento fra i conci.

Il diagramma degli angoli di scorrimento mostra in colore rosso i valori dell'angolo che, per l'arco corrente, superano il limite consentito (angolo di attrito fra i giunti, diviso il coefficiente di sicurezza).

7.3.4. DIAGRAMMA TENSIONI DI COMPRESSIONE

Questo diagramma, selezionabile sia dalla finestra 'Tipo di disegno' , sia direttamente dal pulsante , mostra il diagramma delle tensioni di compressione lungo lo sviluppo dell'arco, costruito ponendo le ordinate con riferimento all'asse dell'arco.

I valori numerici delle tensioni di compressione arricchiscono il disegno e possono essere evidenziati oppure rimossi (ad esempio, per visualizzare meglio l'andamento del diagramma) utilizzando il pulsante grafico della barra degli strumenti  ('Mostra valori nei diagrammi').

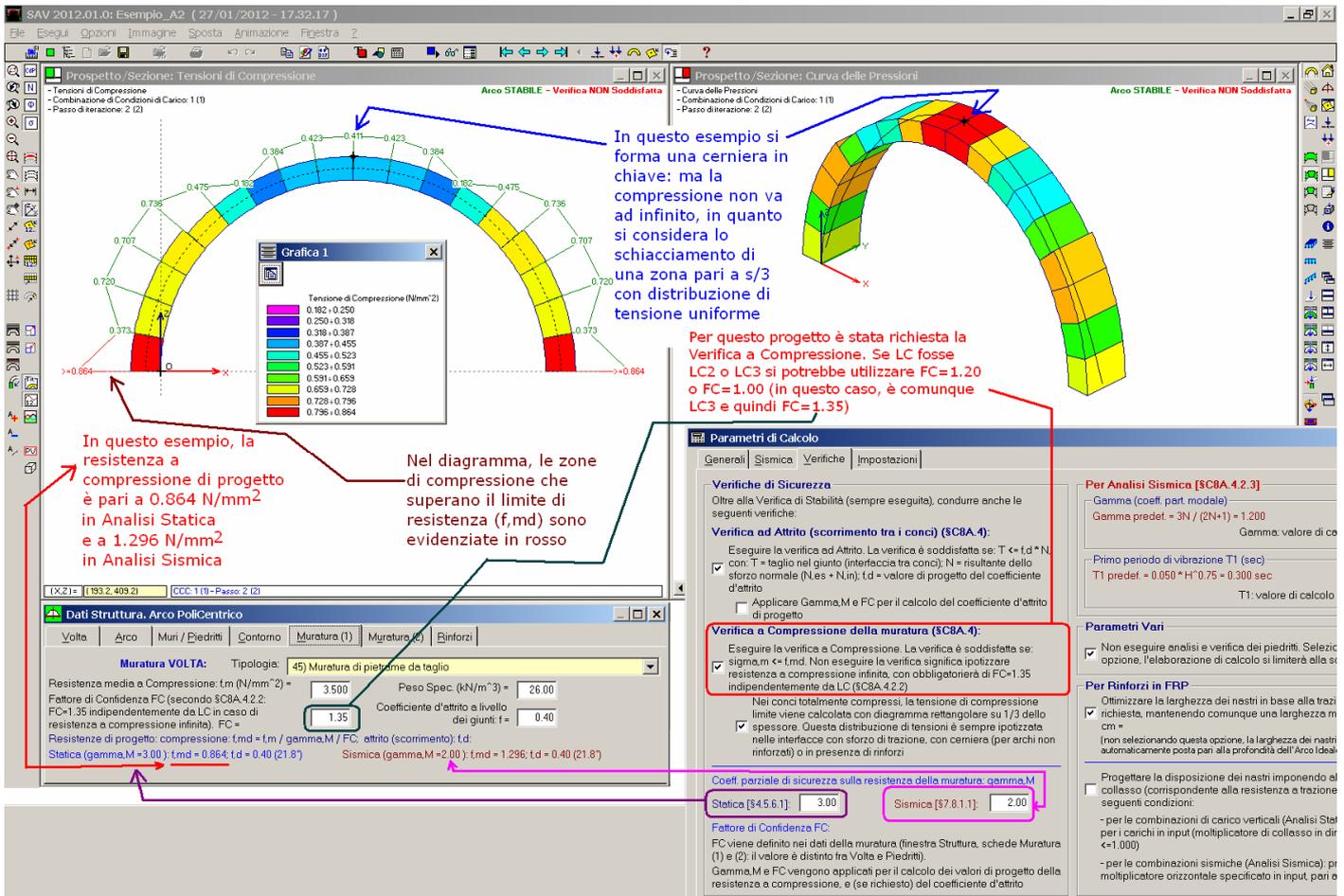


Fig. 7.3.6. Diagramma Tensioni di Compressione

Il diagramma delle tensioni di compressione mostra in colore rosso i valori delle tensioni che superano il limite di riferimento $f_{md} = f_m / \gamma_M / F_C$; esso rappresenta il massimo valore della tensione interfaccia per interfaccia. In ogni singola interfaccia, cioè nella sezione del concio, l'andamento delle tensioni adottato da SAV è di tipo lineare, ossia: trapezoidale nel caso che la risultante dello sforzo normale sia interna al nocciolo d'inerzia, e triangolare sulla sola parte compressa in caso contrario. Nelle zone soggette a fessurazione (con apertura e cerniera, oppure con rinforzo), la tensione viene calcolata ipotizzando, in accordo con la sperimentazione [14], una zona di schiacciamento pari a $s/3$ dove lo sforzo normale di compressione si distribuisce in modo uniforme. E' anche possibile (come nel caso dell'esempio in fig. 7.3.6) condurre tale valutazione a schiacciamento anche nelle zone tutte compresse ma con curva delle pressioni vicina al bordo (tale cioè che la risultante sia esterna al nocciolo d'inerzia). Il valore massimo della tensione in corrispondenza di ogni interfaccia è il valore riportato nel diagramma di fig. 7.3.6.

Ai fini di una efficace rappresentazione 'ingegneristica' del diagramma delle tensioni di compressione, tutte le zone con valori maggiori della resistenza a compressione di progetto f_{md} vengono rappresentate con il valore massimo consentito per la tensione di compressione (riportando il valore: $\geq f_{md}$).

Il Progettista può valutare, in accordo con la teoria di Heyman, la possibilità di non eseguire la verifica a compressione, il che equivale a considerare una resistenza a compressione infinita. Se la verifica a compressione non viene eseguita, secondo la Normativa vigente si dovrà obbligatoriamente utilizzare $F_C=1.35$ (§C8A.4.2.2) indipendentemente dal reale LC raggiunto; se invece la verifica viene eseguita, F_C assumerà il valore corrispondente all'effettivo LC.

7.4. Menu IMMAGINE

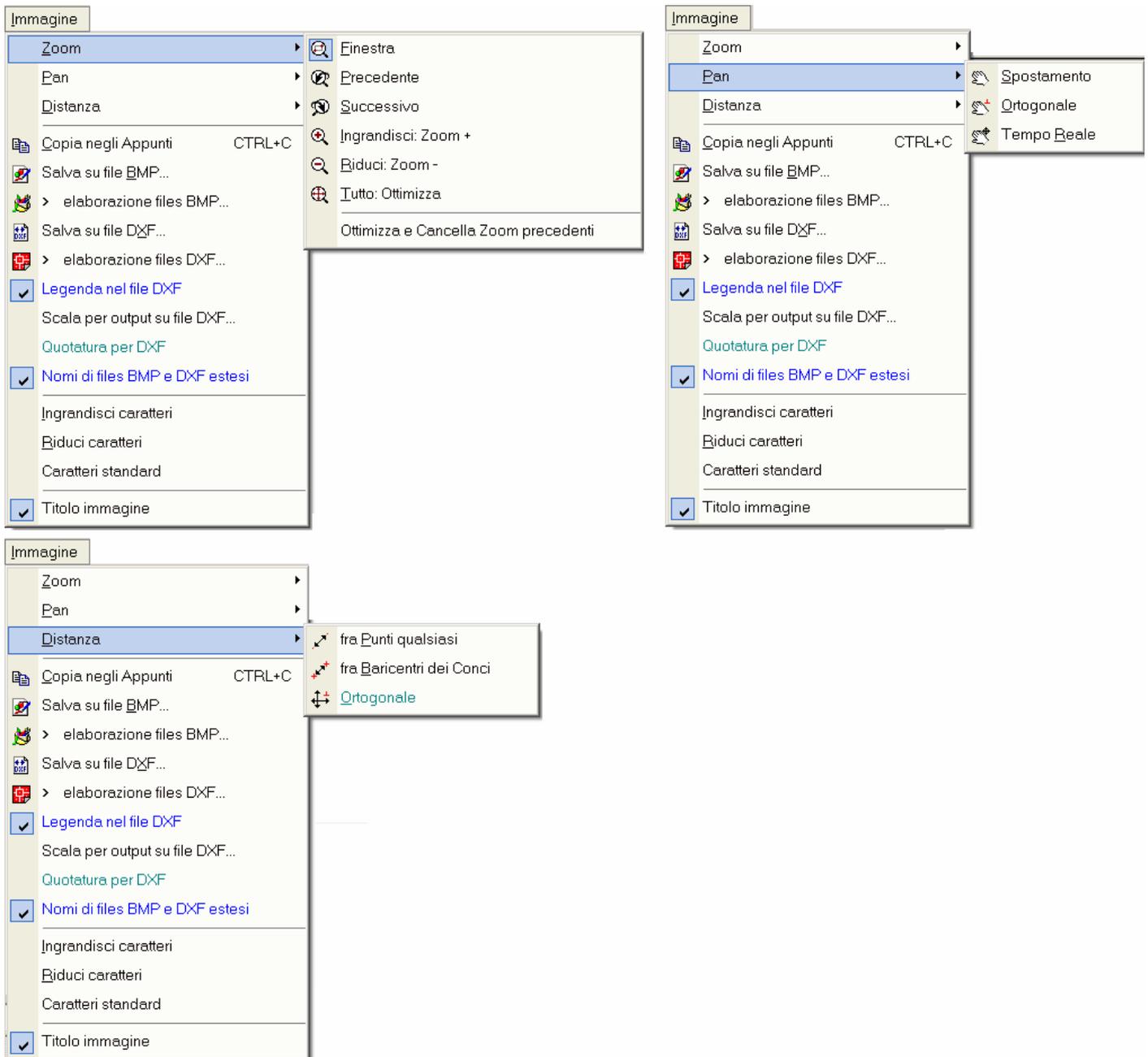


Fig. 7.4.1. Finestra Grafica: menu Immagine

I comandi del menu Immagine provvedono alla **gestione dell'immagine** (Zoom, Pan, ecc.).

Tutti i disegni (dati e risultati) caratterizzati dai parametri correnti, **sono esportabili su file dxf** per una successiva rielaborazione da programmi di CAD. E' inoltre possibile specificare la scala dei files dxf in output.

Zoom: **Finestra**, **Precedente**, **Successivo**, **+** : **Ingrandisci**, **-** : **Riduci**,

Tutto: Ottimizza = comandi di zoom. Zoom Precedente e Successivo operano su più livelli e quindi consentono la rivisualizzazione dell'immagine secondo le precedenti impostazioni di zoom. Le operazioni di zoom + e zoom - (ingrandimento e riduzione) possono essere eseguite agevolmente anche con la rotellina del mouse.

Pan: **Spostamento**, **Ortagonale**, **Tempo Reale** = comandi di pan (panoramica).

Distanza:  fra Punti qualsiasi,  fra Baricentri dei Conci,  Ortogonale = comandi di misurazione delle distanze. Fra baricentri dei concii: la distanza viene misurata tra i concii il cui baricentro è più vicino rispettivamente al punto iniziale e al punto finale dove si è fatto clic per definire il vettore spostamento.

Copia negli Appunti = Pone nella memoria grafica di Windows l'immagine della finestra grafica corrente. Questo comando è utile per rapide operazioni di Copia e Incolla volte ad esportare immagini in altri programmi (ad es. Word, Paint), senza l'obbligo di salvare l'immagine preventivamente su file BMP.

Salva su file BMP... = Crea un file grafico, di estensione BMP, nella sottocartella:

\\Aedes2012\Sav\Output\NomeProgetto

che può essere aperto, visualizzato e modificato in un qualunque programma di disegno in grado di importare files nel formato bitmap (es. Paint). Il disegno bitmap è un particolare tipo di immagine composta da una serie di punti e non da vettori; esso, pertanto, non può essere ridimensionato in scala.

Per il disegno corrente, viene proposto un particolare nome di file (sigla identificativa del disegno) che comunque l'utente può variare a piacere.

Salva su file DXF... = Crea un file grafico, di estensione dxf, nella sottocartella:

\\Aedes2012\Sav\Output\NomeProgetto

che può essere aperto da un qualunque programma di CAD in grado di importare files nel formato dxf (es. AutoCAD). Il disegno importato si presenta, all'interno del programma di CAD, in formato vettoriale, ovvero composto da entità geometriche (linee, cerchi, archi, testi, ecc.) che lo rendono ridimensionabile in scala. Con questo metodo vengono normalmente editati i disegni tecnici.

Il file dxf prodotto si riferisce al disegno correntemente visualizzato nella finestra grafica attiva.

Per il disegno corrente, viene proposto un particolare nome di file che comunque l'utente può variare a piacere.

Per quanto riguarda i **colori su file dxf in output**, questi sono predisposti in modo da corrispondere a quelli visualizzati da SAV. Comunque, le corrispondenze possono essere corrette all'interno del file ColorCad.txt, utilizzando i codici numerici per i colori convenzionali idonei al particolare programma di CAD utilizzato. Alcune possibili combinazioni sono quelle di ColorCad.001 (uguale a ColorCad.txt per preimpostazione) e ColorCad.002. Per ulteriori dettagli sull'output su file DXF, consultare il p. 7.8.2.

Scala per output su file dxf... = Richiede la scala per generare il file dxf di output.

7.5. ALTRI COMANDI DI MENU

Il **menu Animazione** contiene comandi dedicati all'animazione delle immagini. Possono essere animate le variazioni relative a: Condizioni di Carico Elementari, Combinazioni delle Condizioni di Carico, Arco ideale corrente, Concio corrente, Iterazione corrente; è inoltre possibile animare la Rotazione del disegno, ed il Meccanismo di collasso. Quest'ultimo comando ha l'effetto di incrementare progressivamente gli spostamenti cinematici in modo da rappresentare la formazione e il movimento del cinematismo.

Il comando attiva automaticamente (se non già selezionati) i due pulsanti grafici della barra degli strumenti laterale destra:

Analisi al collasso

necessario per mostrare l'analisi corrispondente allo stato di collasso statico o sismico, coerente con l'analisi correntemente selezionata (statica o sismica +X o sismica -X),

Meccanismo di collasso

necessario per rappresentare graficamente il cinematismo, dovuto alla formazione di 4 cerniere.

In pratica, il comando di animazione opera incrementando automaticamente gli spostamenti cinematici, come se si agisse con ripetuti clic sui pulsanti  **Amplifica/Riduci spostamenti cinematici**.

Per interrompere l'animazione del disegno, è sufficiente chiamare nuovamente il comando attivato. L'animazione può inoltre essere velocizzata o rallentata con due appositi comandi di menu.

7.6. INFORMAZIONI SUL TIPO DI DISEGNO CORRENTE

Il pulsante grafico  della barra degli strumenti laterale destra apre la finestra di Relazione per la visualizzazione delle informazioni relative al tipo di disegno corrente.

La finestra Relazione viene così utilizzata per la **visualizzazione di informazioni dettagliate riguardanti dati e risultati**, operazione estremamente utile nel corso della sessione di lavoro con SAV.

Anziché produrre la relazione di calcolo estesa (per la quale è necessario creare, come già detto, il file RTF), è così

possibile sfruttare la presenza di relazioni predefinite, generate da SAV in corso di elaborazione al termine della fase di calcolo, e corrispondenti a tutti i tipi di verifiche eseguiti.

Per usufruire di questa opportunità, è sufficiente eseguire il disegno della verifica desiderata nella finestra Grafica (1) o (2), e quindi fare clic sul pulsante grafico  (Richiesta Informazioni): la finestra Relazione viene automaticamente aperta ed al suo interno è riportata in dettaglio numerico la verifica in corso di consultazione. Cambiando 'tipo di disegno' (ad esempio da Analisi Statica ad Analisi Sismica +X o -X), la finestra Relazione viene immediatamente aggiornata; l'aggiornamento avviene automaticamente anche nel caso di cambiamento di Arco ideale corrente o Combinazione di Carico Corrente (quest'ultimo caso si riferisce all'Analisi Statica). Per quanto riguarda il significato della simbologia utilizzata durante la visualizzazione di dati e risultati nella finestra Relazione, il comando del menu Opzioni della finestra Relazione: 'Legenda Risultati' apre una finestra di testo dove viene riportata la Legenda dei Risultati.

7.7. Finestra LEGENDA

La finestra 'Legenda' è una finestra mobile contenente la legenda relativa al disegno corrente. Oltre al comando del menu Finestra, può essere visualizzata facendo clic sul pulsante grafico della barra degli Strumenti: . Si consiglia di visualizzare frequentemente la legenda, al fine di meglio comprendere il significato delle rappresentazioni grafiche (ad esempio, delle mappe a colori).

Per salvare in una bitmap la legenda è disponibile il pulsante  interno alla finestra che equivale al comando del sistema operativo Windows che pone nella memoria grafica la finestra attiva: fare clic sulla legenda, in modo che il bordo del titolo diventi blu (ciò significa che è la finestra attiva), e quindi premere il pulsante detto oppure, contemporaneamente, **ALT + STAMP**.

Subito dopo è possibile incollare l'immagine della legenda ad esempio in Word, o in Paint, utilizzando i comandi: **CTRL + V** o **MAIUSC + INS**

7.8. FILES DXF

7.8.1. INPUT DA FILE DXF

Il file DXF di input deve essere preparato con i dati strettamente necessari: è sufficiente definire, su opportuni layers, la polilinea che rappresenta la curva d'intradosso dell'arco; non sono necessarie altre entità grafiche. All'interno di SAV verranno poi completati i dati, ad esempio specificando lo spessore durante la fase di input da DXF o, nella fase successiva all'input da DXF, modificando opportunamente i parametri descrittivi (materiali, parametri di calcolo, carichi, ecc.)

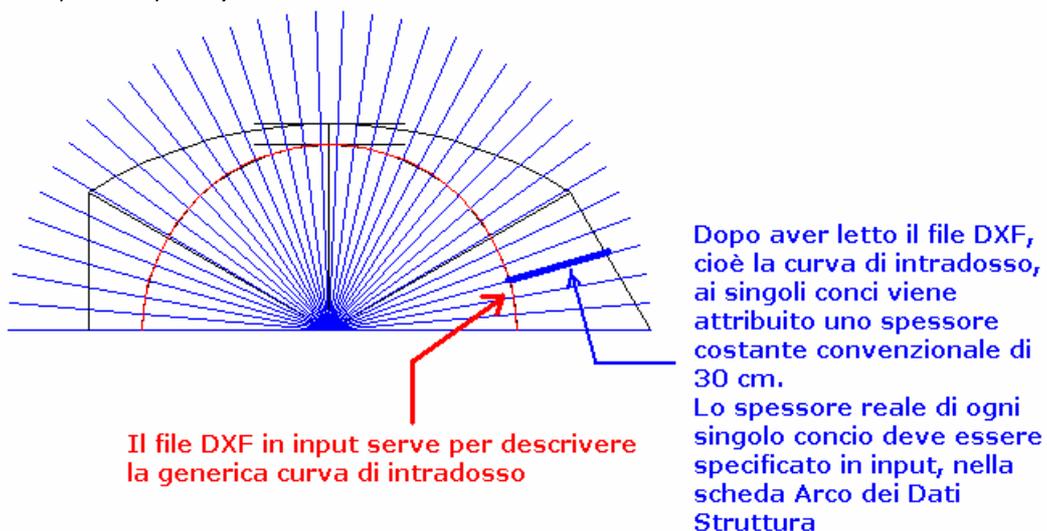


Fig. 7.8.1. Esempio di disegno per file DXF di input

Nella fig. 7.8.1 è riportato un esempio di disegno su CAD finalizzato al successivo input da DXF in SAV. In rosso, la curva d'intradosso. In questo caso particolare, raggi a intervalli di 5° sono stati tracciati al fine di rilevare, concio

per concio, gli spessori dell'arco che poi dovranno essere inseriti - dopo l'input da DXF - nella finestra Coordinate della scheda Arco dei Dati Struttura.

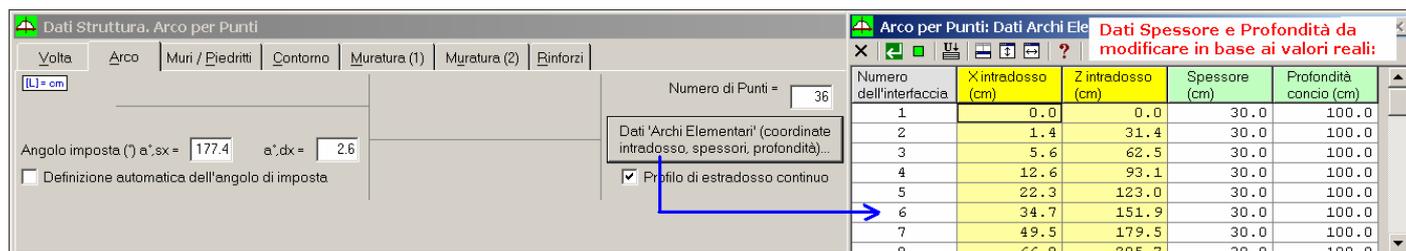


Fig. 7.8.2. Dati da modificare in caso di input da file DXF

Prescrizioni da rispettare per la preparazione dei files DXF di input:

a) Le **misure** possono essere in qualunque unità: si consiglia l'uso dei centimetri, in quanto alla richiesta di SAV di specificare la scala (durante la fase di input da DXF), è sufficiente confermare il valore proposto.

b) La **polilinea della curva d'intradosso** deve essere definita da 3 o più vertici (occorrono cioè almeno due tratti rettilinei che descrivono la struttura ad 'arco').

Nel caso di numero inferiore (<3), la curva d'intradosso viene scartata.

SAV non accetta curve d'intradosso con punti coincidenti (questo fatto può accidentalmente accadere quando, disegnando la polilinea, si fa clic più di una volta sullo stesso vertice): occorre quindi definire con attenzione la polilinea.

La polilinea della curva d'intradosso deve trovarsi sul layer: INTRADOSSO, e deve essere definita **in senso orario**, ossia partendo dall'imposta sinistra (vertice iniziale) verso l'imposta destra (vertice finale).

c) Non esistono vincoli sull'eventuale presenza di entità grafiche su **altri layers**, né su colore e tipo di linea delle polilinee (per esempio, nel disegno di fig. 7.8.1 altri layers sono stati utilizzati per le altre entità del disegno). Non sono necessari testi descrittivi: i dati integrativi verranno inseriti direttamente all'interno di SAV.

d) Come per ogni altro arco definito per punti, il **sistema di riferimento** XZ utilizzato da SAV, indipendentemente dal riferimento adottato in CAD, avrà origine coincidente con il vertice iniziale di intradosso (pensando l'arco percorso in senso orario).

e) E' consigliabile specificare **3 posizioni decimali di precisione** in fase di creazione da CAD del file DXF. Si consiglia, se disponibile, l'output su file DXF compatibile con la release 12 di AutoCAD: ciò allo scopo di esportare il disegno su un file generalmente meglio rilegibile dai programmi applicativi esterni e quindi anche da SAV.

f) Verificare che il **file DXF** per l'input sia posto nella directory: Aedes2012\Sav\Progetti.

Altri files DXF si trovano in \Es-Apprendi e in \Es-Progetti: tali files possono essere utilizzati per l'apprendimento e lo studio degli esempi, ma per i files personali dell'Utente deve essere utilizzato il percorso \Progetti.

Data la molteplicità dei casi che possono presentarsi, sarà cura dell'utente verificare la correttezza dei dati introdotti in SAV tramite file DXF. Curve d'intradosso anomale ai fini della tipologia strutturale ad arco potrebbero ovviamente non essere correttamente interpretate da SAV.

Per preparare il file DXF, si può utilizzare come base di esempio il file:

\Aedes2012\Sav\Files\Esempio_Input.dxf

7.8.2. OUTPUT SU FILE DXF

Tutte rappresentazioni grafiche di SAV 2D sono esportabili su CAD via files DXF di output. Nei vari disegni prodotti, SAV utilizza i seguenti layers:

Geometria = geometria dell'arco

Geometria_testi

Piedritti = geometria dei piedritti

Rinfianchi = geometria dei rinfianchi (o riempimenti)

Sottofondo = geometria del sottofondo

Pavimentazione = geometria della pavimentazione

Diagrammi:

Curva_delle_Pressioni

Sforzo_Normale

Angoli_Scorrimento

Tensioni_Compressione

Disegno dei rinforzi:

Rinforzi

Altre entità:

Fuso

Carichi = carichi agenti sulla struttura globale e sui singoli conci

Testi = testi associati al disegno

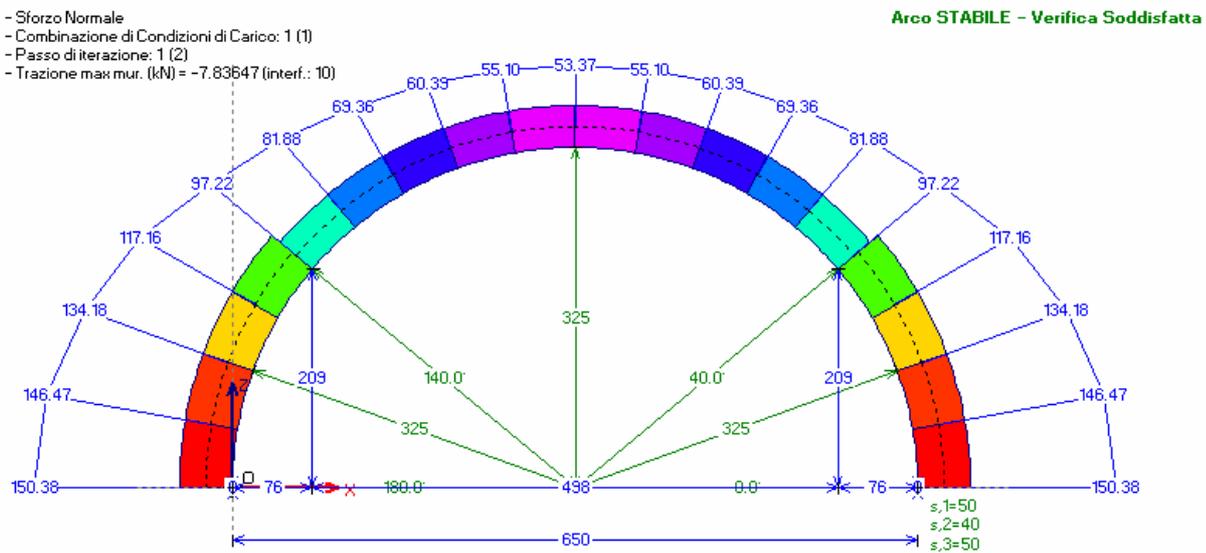
Quote = quotature associate al disegno

Varie = altre entità grafiche

Griglia

Legenda

Disegno interno a SAV (diagramma dello sforzo normale per un arco circolare)



File DXF ottenuto in output per questo disegno:

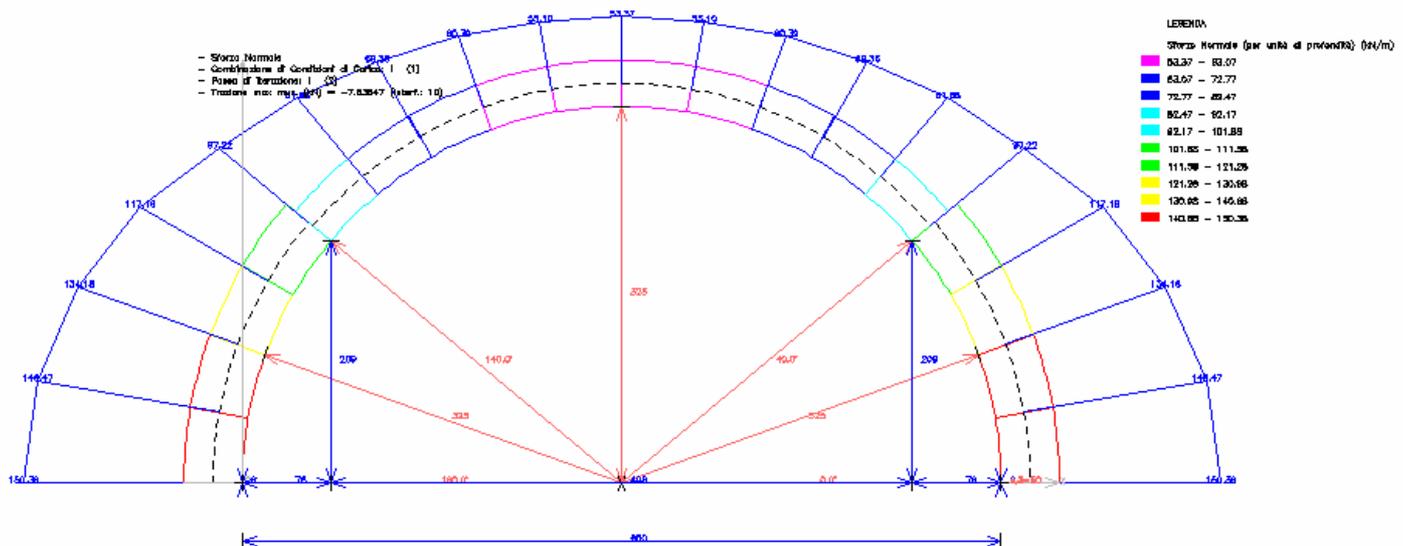


Fig. 7.8.3. Esempio di output su file DXF

In fig. 7.8.3 è riportato un esempio di output su file DXF.

8. SUGGERIMENTI SULL'USO INFORMATICO

Per apprendere l'utilizzo di SAV: la migliore modalità di apprendimento all'uso del programma avviene leggendo e ripercorrendo con attenzione gli esempi riportati nel Vol.3 del Manuale di SAV (Esempi applicativi - Procedure di validazione).

La seguente sezione (Come fare per...) intende dare risposta ad alcune fra le più frequenti domande inoltrate dagli Utenti.

8.1. COME FARE PER...

8.1.1. SALVARE UNA SCHERMATA

Qualunque schermata di Windows, relativa a qualsiasi programma utilizzato, può essere salvata come immagine bitmap per poi essere riutilizzata, ad esempio, per relazioni (ad es. in Word) o modifiche delle figure (ad es. in Paint).

Per salvare in una bitmap la schermata, si utilizzano i comandi del sistema operativo Windows:

ALT+STAMP pone in memoria solo la finestra attiva (quella correntemente in evidenza);

STAMP pone in memoria tutta la schermata di Windows.

Subito dopo è possibile incollare l'immagine ad esempio in Word, o in Paint, utilizzando i comandi:

CTRL+V o **SHIFT+INS**

8.1.2. INSERIRE NELLA RELAZIONE LE FIGURE DELLE FINESTRE GRAFICHE

Per inserire nella Relazione di calcolo le figure, occorre: aver precedentemente creato la relazione su file RTF, ed averla aperta ad esempio con Word (Word è quindi aperto insieme a SAV).

In SAV, facendo clic sulla finestra grafica interessata, la si attiva (bordo evidenziato). Scegliere il comando 'Copia negli Appunti' (CTRL+C) dal menu Immagine; il comando pone nella memoria grafica di Windows l'immagine al momento visualizzata.

Per incollarla nella relazione: all'interno di Word, scorrere il testo fino alla posizione desiderata, e quindi eseguire il comando Incolla del menu Modifica di Word.

In alternativa, le immagini di SAV possono essere salvate su bitmap, generando files di archivio grafico BMP in \Aedes2012\Sav\Output\NomeProgetto, e quindi, magari in un secondo tempo, richiamate da Word per l'inserimento nella relazione.

8.1.3. MIGLIORARE LA VISUALIZZAZIONE DEI DIAGRAMMI

Utilizzare i pulsanti grafici della barra degli strumenti, e più esattamente:

 per ingrandire la scala del diagramma;

 per ridurre la scala del diagramma;

 per mostrare o nascondere i valori numerici associati al diagramma (sforzo normale, angoli di scorrimento, tensioni di compressione);

 per ridurre la scala dell'intero disegno;

 per ingrandire la scala dell'intero disegno.

8.1.4. VISUALIZZARE LE REAZIONI D'IMPOSTA

Per visualizzare **graficamente** le azioni alle imposte, occorre passare alla modalità 'Singolo Concio' per la rappresentazione dell'arco: fare clic sulla finestra grafica, scegliere il pulsante  per rappresentare la curva delle pressioni, e quindi sul pulsante : viene visualizzato il concio n.1 con tutte le azioni d'interfaccia.

Ricordiamo ora che l'arco viene pensato con inizio all'imposta sinistra e fine alla destra, percorrendo quindi l'asse in senso orario; ogni concio viene percorso dall'interfaccia sinistra (iniziale) verso l'interfaccia destra (finale). Le azioni sull'interfaccia sinistra corrispondono alle reazioni d'imposta sinistra. I valori dei due sforzi normali (intradosso ed estradosso) formano insieme lo sforzo normale totale. Sforzo normale e taglio vengono combinati nella risultante, poi scomposta in componente orizzontale (spinta) e verticale.

Se l'interfaccia è orizzontale (angolo di imposta sinistro 180°), i due sforzi normali coincidono con la componente verticale, ed il taglio con la spinta.

Le azioni alle imposte (spinte sui piedritti) possono essere **numericamente** visualizzate nel seguente modo. Rappresentando la curva delle pressioni, anche con l'arco completo, fare clic sul pulsante 'Informazioni' ⓘ della finestra grafica: nella parte in basso della schermata, dedicata alle finestre dati e di testo, viene aperta la finestra Relazione che mostra i risultati dell'Analisi Statica; scorrendola in avanti (utilizzare la barra di scorrimento verticale posta a destra), dopo i risultati degli sforzi nelle interfacce tra i conci vengono mostrare le azioni alle imposte.

8.2. SOLUZIONI IN CASO DI DIFFICOLTA'

8.2.1. CONSIGLI SULLA SUDDIVISIONE IN CONCI

Per scegliere la modalità di suddivisione dell'arco in conci, utilizzare la scheda Impostazioni della finestra Parametri di Calcolo (p. 3.5.1).

I **conci** possono essere considerati ideali, aventi cioè il **significato matematico** di discretizzazione del 'continuo'. Pertanto, possono essere organizzati a piacere dall'Utente, che dovrà considerare la conseguenza numerica della scelta effettuata.

Una considerazione importante sul metodo agli elementi finiti utilizzato da SAV, è la sostanziale invarianza del risultato rispetto all'aumento del numero dei conci della schematizzazione. Questo indica che la discretizzazione dell'arco con un numero elevato di conci non è un'operazione, in generale, necessaria per cogliere la stabilità della struttura. Peraltro, l'incremento del numero dei conci può aumentare sensibilmente i tempi di elaborazione a causa del metodo matriciale utilizzato: dal calcolo numerico è noto infatti che l'inversione di una matrice di ordine N richiede un numero di operazioni dell'ordine di N^3 (la tecnica delle matrici sparse e il solutore utilizzato garantiscono comunque elevate prestazioni al software anche per inversioni di matrici di dimensioni grandi, relativamente all'ordine del problema considerato).

In ogni caso, è possibile attribuire **significato fisico** ai singoli conci facendoli coincidere con i reali conci rilevati nell'arco, anche se questa scelta può appunto condurre a una discretizzazione onerosa.

8.2.2. CONSIGLI SULL'INPUT DA FILE DXF

Se eseguendo l'input non si ha alcuna visualizzazione della struttura, provare a esportare su **DXF per la release 12** di AutoCAD.

Nella costruzione della curva d'intradosso, non fare clic più di una volta sullo stesso vertice (i **vertici consecutivi** devono essere tra loro **distinti**): una curva contenente punti coincidenti viene scartata.

Non usare il sistema di riferimento **UCS**: può creare problemi sul DXF.

Altri consigli: usare i centimetri (in modo che la scala di lettura sia 1); tenere l'origine nel vertice iniziale d'intradosso, in modo che SAV non cambi successivamente i valori delle coordinate (si ricorda che SAV opera comunque ritraslando tutti i vertici della curva d'intradosso in modo che l'origine coincida col vertice iniziale d'intradosso).

8.2.3. PROCEDIMENTO ITERATIVO NON CONVERGENTE

La convergenza del procedimento iterativo utilizzato nella risoluzione del problema strutturale dell'equilibrio dell'arco (secondo i criteri illustrati ne 'La Teoria') corrisponde alla stabilità dell'arco stesso. Pertanto, un calcolo non convergente è indice di instabilità quando siano stati eseguiti tutti i passi possibili del procedimento iterativo. Si ricorda infatti che per un arco in muratura semplice non è possibile spingere le iterazioni oltre il quarto passo, che corrisponde alla formazione della terza cerniera, in quanto un'ulteriore cerniera creerebbe una struttura labile. Talvolta il problema può essere di tipo numerico, dipendente dal numero di conci della schematizzazione: provare a verificare l'effettiva instabilità cambiando il numero di conci, oppure raffinando la tolleranza (ossia, diminuendone il valore; scheda Impostazioni della finestra 'Parametri di Calcolo').

8.2.4. IMPOSSIBILE APRIRE PIÙ ISTANZE DI SAV

SAV non prevede tale possibilità. Quindi, per esaminare più strutture non si può contemporaneamente aprire più di una istanza di SAV. Occorre cambiare la struttura all'interno del programma, richiamando di volta in volta l'arco desiderato.

9. SUGGERIMENTI SULL'USO INGEGNERISTICO

9.1. COME FARE PER...

9.1.1. SCHEMATIZZARE LA GEOMETRIA DELLA VOLTA

SAV analizza il problema piano, ossia l'arco inteso come sezione trasversale di una struttura voltata cilindrica. Le **volte a botte** quindi vengono studiate in modo corretto. Strutture cilindriche di profondità rilevante, come ad esempio i ponti in muratura, richiedono la suddivisione in archi ideali al fine di descrivere correttamente le zone sottoposte a carichi di superficie (le cui impronte non si estendono per tutta la profondità della volta). La suddivisione in archi ideali effettuata in SAV prescinde dalla considerazione degli effetti trasversali che, in caso di carichi dissimmetrici, trasmettono azioni fra i singoli archi; tuttavia, questa analisi semplificata opera in generale a favore di sicurezza.

Le **volte a crociera** vengono studiate staticamente da SVM, ma poiché l'analisi sismica è condotta solo da SAV, per analizzare la risposta sismica delle volte a crociera se ne richiede la scomposizione negli archi fondamentali (diagonali e perimetrali, oltre alle lunette). Tale scomposizione può essere operata da SVM esportando archi verso SAV, tuttavia in alcuni casi può essere adottata la via diretta di modellazione degli archi diagonali, perimetrali e lunette in SAV. Come sezione dell'arco verrà considerata una 'zona di competenza' idonea, mentre i carichi dovranno essere definiti in modo tale da rappresentare il più fedelmente possibile il carico effettivamente agente sull'arco (eventualmente, evitando carichi uniformi e definendo più carichi lineari con valori distinti per diverse zone dell'arco). Con queste procedure viene perso l'effetto spaziale della volta a crociera, tuttavia in tal senso si opera a favore di sicurezza.

Le **volte a padiglione** possono essere scomposte nelle due direzioni principali (longitudinale e trasversale) e quindi studiate con SAV. Anche in questo caso viene meno l'effetto spaziale, ma si opera sempre a favore di sicurezza.

Una **cupola** a sommità chiusa può essere studiata con un unico arco avente sezione trasversale a profondità variabile, come in figura seguente:

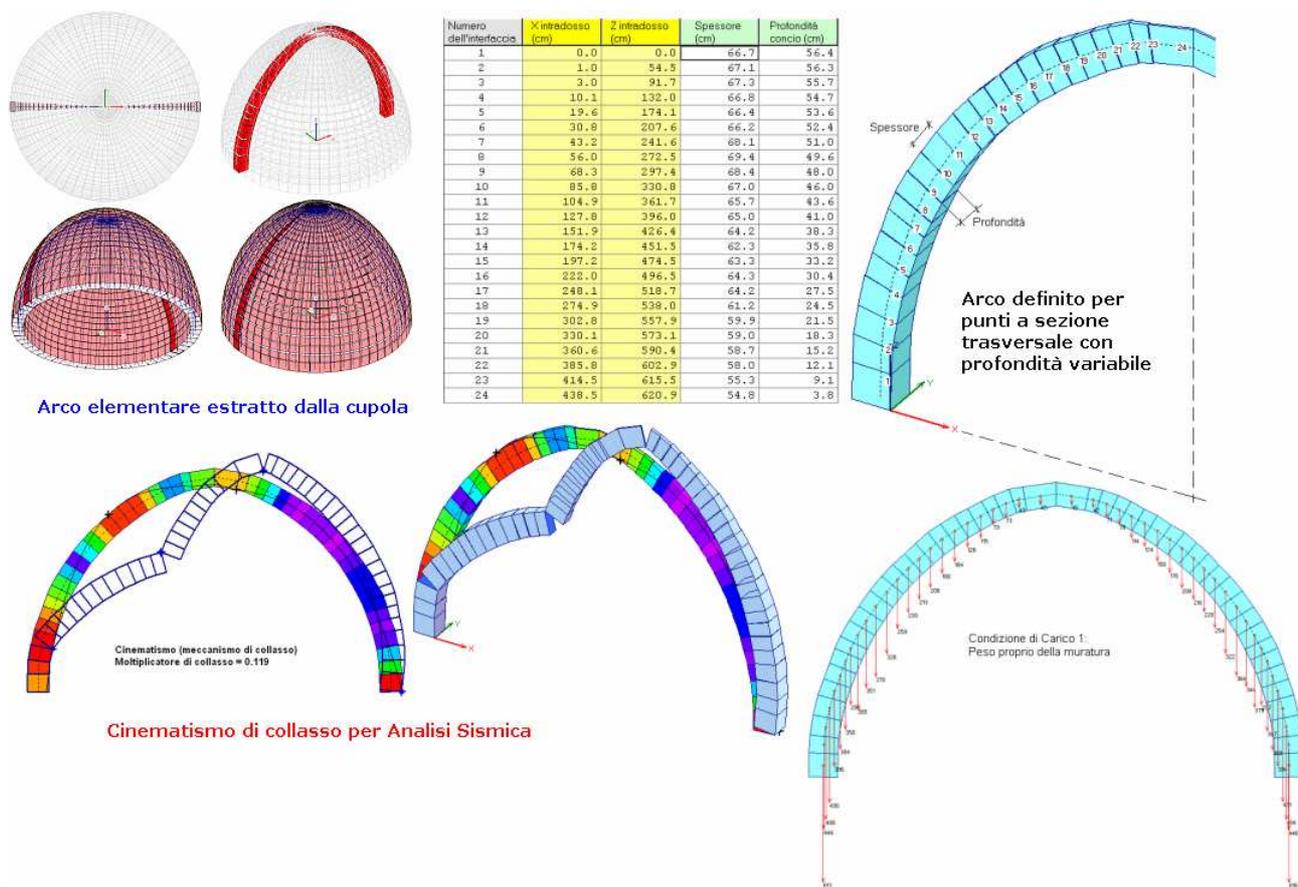


Fig. 9.1.1. Arco a profondità variabile (arco elementare estratto da una cupola)

Per lo studio di capacità sismica della cupola, questa modellazione è idonea per cogliere il comportamento fuori piano della struttura; per il comportamento membranale (legato al cemento dei singoli archi elementari lungo la superficie curva della cupola) occorrono altri modelli di calcolo (ad esempio, determinando il moltiplicatore di collasso per via statica, operazione possibile nel software PC.E © AEDES): questa metodologia si basa quindi sul disaccoppiamento dei comportamenti ortogonale e complanare della superficie muraria. L'instabilità fuori piano spesso prevale rispetto al comportamento complanare, e quindi lo studio con SAV può fornire valori attendibili dei moltiplicatori di collasso.

Altri tipi di volte possono essere studiati staticamente e sismicamente in SAV previa scomposizione in archi semplici piani.

9.1.2. CONSIDERARE CARICHI MOBILI PER PONTI IN MURATURA

I carichi mobili riguardano i casi dei ponti stradali, dove un'impronta di carico che interessa solo una zona della struttura voltata può avere posizione variabile rispetto alla struttura stessa. La posizione più sfavorevole di un carico concentrato o parzialmente distribuito sulla volta può essere interessante anche per altri casi, ad esempio per lo studio del corretto posizionamento di un carico di notevole entità sopra il pavimento che si imposta su un impalcato voltato.

SAV non prevede la generazione automatica di 'linee di influenza' che indichino il valore di una caratteristica di sollecitazione in dipendenza della posizione del carico. Tuttavia, l'analisi degli effetti di un carico mobile può agevolmente essere perseguita definendo più CCE, in numero sufficientemente rappresentativo di diverse posizioni di uno stesso carico, e creando altrettante CCC in ognuna delle quali si attiva (con moltiplicatore 1.00) solo una CCE di quel carico e si disattivano (con moltiplicatore 0.00) tutte le altre. Ciò consente la corretta determinazione degli effetti statici, anche con l'eventuale calcolo del moltiplicatore verticale.

Dal punto di vista sismico, poiché la CCC sismica +X / -X viene formata automaticamente, occorrerà fare riferimento ad una sola CCE selezionando solo per essa il Moltiplicatore Orizzontale: si potrà scegliere ad esempio quella che genera la situazione statica più sfavorevole. Se si vogliono studiare più scenari sismici, si potranno creare più files della stessa struttura voltata, variando via via la CCE da considerare in analisi sismica.

9.1.3. DIMOSTRARE IL MIGLIORAMENTO SISMICO

Data una struttura voltata di cui deve essere analizzata la vulnerabilità sismica ed eventualmente progettato un intervento di consolidamento, sarà necessario elaborare due files: Stato Attuale e Stato di Progetto. Lo Stato di Progetto vedrà in generale un consolidamento della struttura ad es. tramite inserimento di catene o realizzazione di cappe in cls o posizionamento di fibre. Il confronto fra gli Indicatori di Rischio Sismico, allo Stato Attuale e allo Stato di Progetto, evidenzierà il miglioramento sismico.

Se l'intervento non è soltanto locale, ma investe in qualche modo l'edificio in cui la volta è inserita, il risultato ottenuto per la struttura voltata dovrà essere comparato con i parametri ottenuti dall'analisi di vulnerabilità dell'edificio nel suo complesso.

9.1.4. STUDIARE ARCHI NON RICONOSCIBILI NELLE GEOMETRIE PREFISSATE

SAV consente la schematizzazione automatica delle tipologie più diffuse di arco:

- archi circolari: a tutto sesto, a sesto ribassato, zoppo, a sesto acuto, policentrico;
- archi ellittici: a spessore costante o variabile;
- piattabande.

Tutte le altre geometrie, sia notevoli (ad esempio, arco parabolico) sia note per coordinate successive (ad esempio nel caso di rilievo in situ delle quote d'intradosso a intervalli prefissati), possono essere descritte utilizzando la tipologia di 'arco definito per punti'; nella pratica operativa, risulta conveniente disegnare in CAD la struttura (in particolare, la curva d'intradosso) e quindi eseguire in SAV l'input da file DXF (cfr. p. 7.8.1).

9.1.5. INCERTEZZE SUI PARAMETRI DI RESISTENZA DELLA MURATURA

La resistenza caratteristica a compressione della muratura può essere oggetto di notevole incertezza.

Si conoscono valori di riferimento, tratti dalla Circ. 617 del 2.2.2009 (§C8A.2) e proposti in SAV all'interno della Tabella Materiali; tuttavia, tali valori sono originariamente calibrati per 'pareti portanti' e quindi potrebbero non essere propriamente idonei per gli archi e le volte. Spesso nelle verifiche a compressione degli archi viene utilizzata la resistenza a compressione intrinseca della pietra, che può assumere valori anche assai elevati.

CARATTERISTICHE MECCANICHE DI ELEMENTI RESISTENTI NATURALI					
Rocce	Valori medi a rottura per:				E_c ($\text{kg/cm}^2 \cdot 10^3$)
	compressione		flessione		
	(N/mm^2)	(kg/cm^2)	(N/mm^2)	(kg/cm^2)	
Graniti e Sieniti	100 ÷ 230	1000 ÷ 2300	10 ÷ 20	100 ÷ 200	500 ÷ 600
Porfidi	100 ÷ 280	1000 ÷ 2800	15 ÷ 22	150 ÷ 220	550 ÷ 650
Arenarie	40 ÷ 130	400 ÷ 1300	4 ÷ 10	40 ÷ 100	100 ÷ 300
Travertini	20 ÷ 60	200 ÷ 600	5 ÷ 10	50 ÷ 100	80 ÷ 250
Calcari compatti	80 ÷ 180	800 ÷ 1800	6 ÷ 20	60 ÷ 200	450 ÷ 700
Tufi	5 ÷ 15	50 ÷ 150	0,5 ÷ 0,7	5 ÷ 7	30 ÷ 150
Marmi	100 ÷ 140	1000 ÷ 1400	7 ÷ 20	70 ÷ 200	500 ÷ 800

Fig. 9.1.2. Parametri di resistenza di murature con elementi naturali (da [10])

In fig. 9.1.2 sono riportati alcuni valori, tratti da [10] (p. 1.2 del Vol.1 del Manuale di SAV), relativi alle caratteristiche meccaniche di elementi murari naturali.

9.2. SOLUZIONI IN CASO DI DIFFICOLTA'

9.2.1. NON SI RIESCE A DIMOSTRARE LA VERIFICA DI UN ARCO NELLA REALTA' STABILE

In alcuni casi, archi integri risultano penalizzati nel calcolo, con giudizio teorico di instabilità in contrasto con la realtà della struttura. Ciò può accadere, ad esempio, nel caso di archi sottili (basso rapporto spessore / raggio, ad es. per geometria circolare). In casi del genere quasi sempre esiste una struttura sovrastante che 'collabora' almeno parzialmente, e fornisce quindi non solo un peso (come valutato dal software SAV), ma anche un vincolo ed un ampliamento di struttura resistente: a volta è infatti sufficiente una piccola 'fascia' collaborante in estradosso per giustificare anche teoricamente la stabilità dell'arco.

Questa osservazione aiuta a comprendere i fenomeni studiati: gli archi analizzati, in genere, non sono mai archi 'puri' sollecitati da a 'puri' carichi, ma si tratta di strutture inserite in un contesto avente spesso funzione di vincolo e di resistenza; chiaramente, i metodi proposti semplificano il problema ma operano a favore di sicurezza: se l'arco risulta stabile, lo sarà sicuramente; se non lo è, occorre studiare più a fondo il comportamento (ad esempio, con alcune prove dove si fanno variare i parametri descrittivi) valutando il grado di affidabilità del risultato.

9.2.2. MOLTIPLICATORE DI COLLASSO Nullo (0.000) PER CARICHI VERTICALI

Il Moltiplicatore verticale (Molt. vert.) interessa tutti i carichi che si ritiene possano crescere proporzionalmente: con l'analisi al collasso sarà così possibile indagare il massimo valore dell'amplificazione consentita per tale carico. Questo parametro viene quindi attivato quando si voglia studiare il massimo carico sostenibile.

E' possibile che l'analisi evidenzi un **moltiplicatore verticale nullo**: ciò significa che l'eliminazione completa del carico affetto da molt.vert. instabilizza l'arco, arco che magari risulta stabile sotto il valore non nullo che tale carico assume nella configurazione statica. Questo risultato, apparentemente anomalo, è invece correttamente corrispondente alle condizioni di stabilità dell'arco, negativamente influenzate da bassi carichi verticali (ovviamente queste considerazioni valgono in relazione agli altri carichi applicati, e quindi ogni caso deve essere oggetto di studio specifico).

Si osservi infine che quando il carico è uniforme e la struttura è stabile sotto il valore di esercizio, l'instabilità a carico verticale è teoricamente raggiunta sotto moltiplicatori molto elevati.

9.2.3. VERIFICA AD ATTRITO NON SODDISFATTA

Le verifiche di resistenza possono abbassare in modo significativo la soglia di verifica di un arco la cui stabilità sia invece ampiamente assicurata.

Per quanto riguarda la verifica di scorrimento nei giunti (verifica ad attrito), non si deve prescindere dal valutare quali siano le interfacce maggiormente in crisi per attrito: dall'analisi del diagramma dell'angolo di scorrimento, può risultare che i valori più elevati di tale angolo sono alle imposte, zone dove la presenza di altre strutture (ad esempio, piedritti con muratura che prosegue verticalmente o pile di ponti) potrebbe di fatto rendere puramente teorica la mancata soddisfazione della verifica ad attrito.

Come al solito, le verifiche di tutti i programmi di calcolo strutturale devono essere valutate criticamente in relazione al significato fisico dei dati e dei risultati, magari anche per concludere che le semplificazioni adottate agiscono a favore di sicurezza e quindi cautelano maggiormente sul giudizio di idoneità statica e sismica della struttura.

9.2.4. OSSERVAZIONI SULLE SIMMETRIE

Quando si osserva un cinematismo in SAV, le cerniere sono sempre 4: si focalizza infatti l'attenzione sulla configurazione che corrisponde al collasso, con formazione della quarta cerniera. La simmetria del cinematismo deve corrispondere alla simmetria della struttura e del carico.

L'asimmetria della deformata cinematica può dipendere semplicemente da quale cerniera si forma numericamente per prima. Nel caso di configurazioni simmetriche con formazione di cerniera ad un imposta, dovrebbe contemporaneamente manifestarsi una cerniera anche all'altra imposta; la risoluzione numerica può tuttavia cogliere una non contemporaneità a causa delle precisioni di calcolo.

In generale, geometrie di arco simmetriche dovrebbero essere discretizzate con conci simmetrici: ad esempio, per un arco circolare simmetrico è preferibile che ci sia un'interfaccia in chiave, anche se ciò generalmente non corrisponde al reale concio fisico presente in chiave; comunque, tutte le schematizzazioni sono lecite: se è presente un concio in chiave e la stabilità dell'equilibrio richiede la formazione di una cerniera in chiave, questa ovviamente si formerà nell'interfaccia immediatamente precedente o successiva rispetto al concio di chiave.