



AEDES Software

## **SISTEMI VOLTATI IN MURATURA**

### **GUIDA ALLA VERSIONE TUTORIAL**

collegata alla pubblicazione:



### **"Sistemi Voltati in Muratura"**

Autori: **Michele Paradiso, Giacomo Tempesta, Stefano Galassi, Francesco Pugi**

edito da: **DEI Tipografia del Genio Civile**

00161 Roma, Via Nomentana 16

Tel.: **06.44.16.371** - Fax: **06.44.03.307**

E-mail: **dei@build.it** - Internet: **www.build.it**

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

Data di rilascio della Versione Tutorial di SVM © AEDES (rev. 2008.01): ottobre 2007



© **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**

---

## NOTE SULL'UTILIZZO DEL SOFTWARE CONTENUTO NEL CD ALLEGATO

### LICENZA FREEWARE.

**LEGGERE ATTENTAMENTE:** LA LETTURA DEL CONTENUTO DI QUESTA PAGINA COSTITUISCE CONDIZIONE INDISPENSABILE PER L'INSTALLAZIONE E L'UTILIZZO DEL SOFTWARE

### CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO E TERMINI D'USO

SVM, Versione Tutorial (nel seguito: *Tutorial*) è un software freeware; non richiede alcuna procedura di registrazione, e può essere consultato da chiunque desideri conoscere in dettaglio le procedure del software prodotto dalla AEDES Software per Ingegneria Civile (nel seguito: AEDES). *Tutorial* deve essere utilizzato seguendo rigorosamente le procedure descritte nella presente documentazione, che costituisce parte integrante del software.

In ogni altro caso, non è consentito a nessun titolo l'utilizzo del software, e non ne è garantito il corretto funzionamento; in particolare, per l'utilizzo professionale è necessaria l'acquisizione della versione commerciale (rivolgersi a AEDES, [www.aedes.it](http://www.aedes.it), [info@aedes.it](mailto:info@aedes.it)).

Le procedure di installazione e l'utilizzo di *Tutorial* sono contenute nei files di avvio del CD allegato.

La documentazione fornita a corredo del software, consistente sia nel presente volume, sia negli archivi informatici, consente il completo utilizzo di *Tutorial*.

Si ricorda che AEDES fornisce supporto tecnico all'uso del proprio software esclusivamente agli Utenti delle versioni professionali per i quali sia regolarmente in vigore il servizio di assistenza.

AEDES si riserva il diritto di apportare miglioramenti o modifiche al programma SVM, e quindi anche a *Tutorial*, in qualsiasi momento e senza preavviso.

I nomi citati nella presente documentazione possono essere marchi di fabbrica o marchi registrati dalle rispettive società.

### DICHIARAZIONI DI RESPONSABILITÀ

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.

AEDES non si assume alcuna responsabilità per danni diretti o indiretti causati dall'errata installazione o dall'utilizzo non corretto del software o dei supporti informatici: pertanto, l'utilizzatore di *Tutorial* è responsabile sia dell'installazione sia del corretto utilizzo del software. L'installazione di *Tutorial* e la conseguente disponibilità operativa del programma SVM sul proprio computer, costituisce implicitamente approvazione ed accettazione definitiva dei termini d'uso descritti.

Chi non approva i termini d'uso, non dovrà installare *Tutorial* oppure, qualora lo avesse già installato, dovrà provvedere immediatamente alla sua rimozione.

*Data l'evidenza conferita ai termini di utilizzo della Licenza Freeware (caratteristiche del prodotto, termini d'uso e dichiarazioni di responsabilità), non potrà essere invocata in alcun modo la mancata conoscenza di tali contenuti da parte dell'utilizzatore.*

### REQUISITI HARDWARE E SOFTWARE

Per il corretto funzionamento del software *Tutorial* è necessario che nel computer sia installato uno dei seguenti sistemi operativi Microsoft © Windows: 2000, XP.

Altri requisiti di sistema:

Microprocessore Pentium o compatibili, RAM: minima 64 MB - consigliata 256 MB, unità CD-ROM o DVD-ROM, scheda video VGA. Risoluzione video consigliata: 1280x1024, caratteri grandi.

## **INDICE**

### **1. INTRODUZIONE 4**

### **2. IL CODICE SVM: APPLICAZIONE 4**

#### 2.1. ANALISI STRUTTURALE 8

### **3. CONSULTAZIONE DELL'ESEMPIO DI APPRENDIMENTO 10**

#### 3.1. LA CROCIERA (3,1) 10

#### 3.2. LA CROCIERA (3,2) 17

#### 3.3. IL PIEDRITTO ANGOLARE 17

#### 3.4. IL PIEDRITTO PERIMETRALE (4,1)-(4,2) 18

#### 3.5. IL PIEDRITTO PERIMETRALE (4,1)-(3,1) 22

#### 3.6. IL PIEDRITTO INTERNO 25

## 1. INTRODUZIONE

La versione Tutorial di SVM (C) AEDES si presenta come un visualizzatore di modelli di sistemi voltati realizzati con la versione professionale completa: qualsiasi progetto, di soli dati e/o di dati e risultati strutturali insieme, può essere ispezionato. E' consentito effettuare la modellazione e la modifica di nuove strutture ma non l'esecuzione del calcolo, nè il salvataggio dei files. La stampa è invece sempre consentita.

La finalità con cui è stata concepita la versione Tutorial di un software professionale è quella di indicare all'utente le sue potenzialità non meno dei suoi limiti e di mostrare, attraverso esempi reali, come sia possibile affrontare il problema delle strutture in muratura sviluppando l'algoritmo di calcolo proposto nel volume al quale è allegato il presente CD.

## 2. IL CODICE "SVM": APPLICAZIONE

Il codice SVM<sup>1</sup>, dedicato all'analisi spaziale di sistemi voltati in muratura, viene qui presentato in applicazione ad un caso reale: il podere di Tranchedaia<sup>2</sup>, ubicato in provincia di Arezzo, nel territorio comunale di Bibbiena lungo la strada che conduce alla Verna.

Il Comune di Bibbiena costituisce il cuore della vallata del Casentino, celebre soprattutto per la bellezza del paesaggio naturale, non a caso parzialmente incluso nel Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi Monte Falterona e Campigna.

Il podere, collocato all'altitudine di circa 400 metri, si compone di quattro fabbricati: una casa colonica, una stalla dalla struttura alquanto particolare, una concimaia ed un essiccatoio.

L'edificio, orientato in direzione est - ovest, si presenta come un blocco compatto a pianta rettangolare, disposto su un terreno erboso in leggera pendenza verso est, ed è quasi interamente realizzato in mattoni e in pietra naturale, rinforzata lungo gli spigoli da elementi più squadri e di maggiore dimensione.

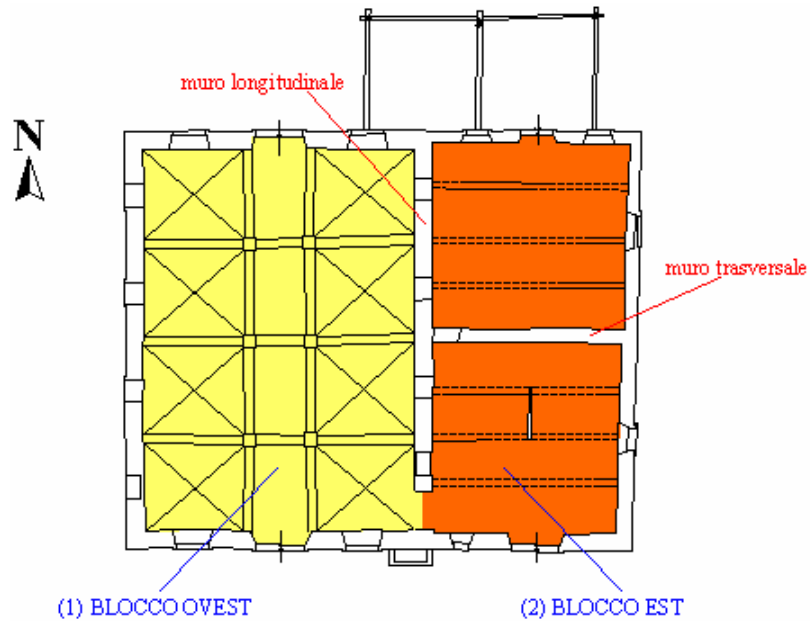


**Fig. 1** – La colonica di Tranchedaia: prospetto nord.

---

<sup>1</sup> SVM è un software professionale prodotto e distribuito da AEDES Software, [www.aedes.it](http://www.aedes.it).

<sup>2</sup> "La colonica di Tranchedaia nel Comune di Bibbiena (AR), Recupero funzionale e consolidamento", Tesi di laurea di Alessandra Seri, a.a. 2002-2003, relatore Prof. Michele Paradiso, Dipartimento di Costruzioni, Facoltà di Architettura, Università degli Studi di Firenze.



**Fig. 2** – Pianta del piano terra del fabbricato.

La sagoma rettangolare dell'edificio è definita da una scatola muraria continua, suddivisa da un muro longitudinale in due blocchi di diversa dimensione.

Il primo blocco, posto ad ovest, è un unico grande vano di circa metri 8x12, caratterizzato dalla presenza di 6 pilastri disposti su due file parallele all'asse maggiore. Tali pilastri suddividono lo spazio in tre settori a sviluppo longitudinale, e definiscono un impianto perfettamente simmetrico rispetto ai due assi principali.

Il settore centrale, più piccolo, è di larghezza pari alla metà dei due settori più esterni, ciascuno dei quali è coperto da una successione di quattro volte a crociera in mattoni. Lo stretto solaio piano collocato tra i due sistemi di volte risulta pertanto poco coerente col resto della struttura, ed è infatti certo che anche il settore centrale fosse voltato, probabilmente a botte.

Gli unici due accessi, uguali per forma e dimensione e collocati uno a sud e uno a nord, si pongono esattamente in corrispondenza delle testate del corridoio centrale. Ai lati di ciascuno di essi sono presenti due finestre ad arco ribassato, disposte simmetricamente e analoghe per ampiezza e caratteristiche architettoniche. Uno dei lati maggiori, coincidente con il perimetro esterno della struttura e orientato ad ovest, è caratterizzato dalla presenza di quattro finestre equidistanti dalle altre suddette e collocate grosso modo alla stessa quota delle precedenti.



**Fig. 3** – Crociera d'angolo: settore laterale.



**Fig. 4** – Interno: il settore centrale.

Soltanto una di esse, posta in corrispondenza dell'angolo sud-ovest, appare chiusa da un tamponamento in mattoni ad una testa. In origine, altrettante aperture dovevano trovarsi sulla parete opposta, che come detto divide in due unità l'intera struttura e che, nonostante le ripetute intonacature a calce e a cemento, mostra chiara traccia di tamponamenti in muratura di pietra. Tale parete è attraversata da un'unica porta ad arco ribassato collocata nell'angolo ovest, attraverso la quale è possibile accedere al secondo e più piccolo blocco dell'edificio.

Le due pareti maggiori sono caratterizzate dalla presenza, alla base, di una mangiatoia continua addossata lungo l'intero sviluppo, sporgente di circa 50 cm dal filo del muro e con un'altezza di 60 cm (parete ovest) e 80 cm (parete est).

La scatola muraria è piuttosto uniforme, e presenta uno spessore costante di circa 70 cm. I pilastri, a sezione quadrata e interamente costituiti da mattoni 15x30x4, non presentano particolari motivi decorativi. Si distinguono unicamente il plinto collocato alla base e la sommità, dove la successione di due riseghe, rispettivamente corrispondenti allo spessore di uno e due mattoni, determina una sorta di rudimentale capitello.

L'intradosso degli archi a tutto sesto che delimitano le volte a crociera è arricchito da un rivestimento ornamentale in cotto, realizzato con piastrelle alternate a doppi listelli.

Il percorso centrale è invece ritmato da archi, anch'essi a tutto sesto, costituiti da mattoni disposti di taglio. Esso si differenzia, inoltre, per la quota leggermente ribassata del piano di calpestio, la cui sezione convessa doveva favorire il deflusso delle acque luride. L'intero pavimento è rivestito in lastre di pietra squadrata di diversa dimensione lavorate a sabbia.

Il vano principale, come detto corrispondente al nucleo originario dell'edificio, è stato consolidato mediante l'inserimento di tre catene trasversali poste in corrispondenza dei pilastri, alla quota delle reni degli archi.

Le pareti, intonacate in parte a calce e in parte a cemento, sono tinteggiate in bianco, ma l'intero strato di completamento versa in cattive condizioni e presenta gravi e diffusi fenomeni di distacco. Le volte sono unicamente tinteggiate, e lasciano così trasparire la trama strutturale in laterizio.

Il secondo blocco, posto a est e confinante con il primo lungo uno dei lati maggiori, è articolato in due vani di uguale dimensione da un muro trasversale, attualmente privo di aperture. Esso presenta tuttavia, in corrispondenza dell'estremità ovest, la chiara traccia di un tamponamento in pietra naturale, realizzato a chiusura di una piccola porta ad arco ribassato della larghezza di circa 80 cm. I due vani, a pianta pressoché quadrata, al momento risultano pertanto non comunicanti tra loro, mentre entrambi sono accessibili dall'esterno e solo uno, quello posto a sud-est, lo è anche dal grande ambiente a pilastri e crociera, attraverso il già citato passaggio posto in angolo.

Il vano a sud-est comunica con l'esterno attraverso una finestra architravata posta al centro del prospetto orientale, collocata esattamente al di sotto dell'imposta dell'arco ceduto che conduceva al primo piano. Sul lato sud, in posizione pressoché centrale, è presente una porta, dotata di tettoia, a lato della quale, nell'angolo sud-ovest, c'è un'altra finestra, anch'essa architravata ma molto più piccola della prima. All'interno del vano, un setto murario, orientato in direzione nord-sud e della lunghezza di circa 165 cm, si sviluppa sino al soffitto a sorreggere due delle tre travi lignee del solaio, ordito in direzione opposta. Il setto, sicuramente frutto di un intervento di consolidamento la cui datazione non è al momento nota, a circa due metri di altezza dal pavimento è dotato di una risega, che ne riduce lo spessore sino a circa 12 cm.

La parete collocata ad ovest, confinante col grande ambiente a pilastri, presenta traccia delle menzionate finestre tamponate, una delle quali, collocata accanto all'unica porta interna della struttura, è chiusa solo per la profondità di 10 cm, e si presenta sotto forma di nicchia estesa fino alla quota del pavimento.

Il piano di calpestio, a differenza della già descritta ala ovest, è rivestito in opus incertum di lastre lapidee levigate sulla faccia a vista, mentre nel piccolo vano speculare è presente un semplice letto di terra battuta. Quest'ultimo vano comunica con l'esterno attraverso una porta collocata in asse sul lato nord, analoga alle altre per struttura ma di dimensioni più ridotte. Lo stesso dicesi delle due finestre collocate simmetricamente ai lati. Una terza finestra campeggia al centro della parete est.

I due vani dell'ala est del fabbricato hanno pareti intonacate ed imbiancate ma in cattivo stato di conservazione. Il primo ambiente, come accennato, presenta un soffitto piano retto da tre travi in abete, sulle quali si impostano l'orditura secondaria e il manto di pianelle in cotto. Il secondo è invece un doppio volume direttamente coperto da una falda di tetto, e presenta chiari segni di una recente sopraelevazione. Lo spazio interno era un tempo attraversato da cinque ordini di travi in abete a sezione circolare disposte in direzione est-ovest, presumibilmente in numero di quattro alla quota inferiore e cinque in quelle superiori, distribuite in altezza ad intervalli di circa un metro. Oggi ne restano solo alcune, ma la trama degli alloggiamenti, ancora visibili su due delle pareti, testimonia chiaramente la struttura dell'originaria orditura lignea, che fungeva un tempo da seccatoio per il tabacco.

La scatola muraria del secondo blocco presenta nel complesso notevoli slittamenti di spessore, che varia dagli oltre 50 ai 45 ai 35 cm, dimostrando come questa porzione di edificio sia non coeva con quella principale e frutto di successive addizioni.







i quattro colorati di blu e che nel seguito chiameremo piedritto angolare, piedritto interno, piedritto 4,1 – 3,1 e piedritto 4,1 – 4,2, con richiamo alla loro collocazione in pianta nel rispetto delle campate.

Nel dettaglio, risulta necessario studiare le seguenti sottostrutture:

- *la crociera tipo (3,1)*, delimitata dalla parete d'ambito "A" e dagli archi perimetrali "B", "C", "D" (secondo la nomenclatura propria di SVM): fornirà tutte le indicazioni necessarie alla valutazione della stabilità della stessa e degli archi sopra menzionati;
- *la crociera tipo (3,2)*, delimitata da tutti e quattro gli archi perimetrali "A", "B", "C", "D": da cui la loro stabilità. Tutti gli archi perimetrali sono stati studiati come strutture piane, anziché spaziali come di consueto, dato che le azioni orizzontali ribaltanti trasmesse loro dalla calotta sono risultate insignificanti e quindi trascurabili.
- *il piedritto angolare (63 x 63 x 195 cm)*: è un piedritto ideale ottenuto estrapolando dalla muratura perimetrale quella porzione che risulta sollecitata dalla volta angolare (4,1). I risultati strutturali, per tale piedritto, possono essere perseguiti studiando la campata (4,1), ossia una campata uguale alla campata già analizzata (3,1), questa volta però priva di archi perimetrali;
- *il piedritto perimetrale di sostegno delle due calotte differenti (4,1) e (4,2)*: ancora un piedritto ideale, di dimensioni 63 x 30 x 195 cm. I risultati verranno raggiunti analizzando la campata (4,1), uguale alla (3,1), con la presenza del solo arco perimetrale "C", a cui deve essere aggiunto lo scarico diagonale  $X_{4,2}$  della calotta (4,2), ovvero della già calcolata (3,2);
- *il piedritto perimetrale di sostegno delle due calotte uguali (4,1) e (3,1)*: piedritto ideale di dimensioni 30 x 63 x 195. Si evincono i risultati dallo studio della calotta (3,1), almeno con la presenza dell'arco perimetrale "D", a cui deve essere aggiunto lo scarico diagonale  $X_{4,1}$  della calotta (4,1), ovvero della calotta calcolata (3,1);
- *Il piedritto interno di sostegno delle quattro crociere (4,1), (4,2), (3,1), (3,2)*: l'unico piedritto reale di dimensioni 30 x 30 x 195 cm. Si analizzi dunque la calotta (3,1), con gli archi perimetrali "C" e "D", a cui debbono essere aggiunti:
  - lo scarico  $X_{3,2}$  diagonale della crociera (3,2),
  - lo scarico  $X_{4,2}$  diagonale della crociera (4,2), uguale a quello precedente,
  - lo scarico  $X_{4,1}$  diagonale della crociera (4,1), uguale a quello della stessa calotta in esame,
  - lo scarico  $X_C$  dell'arco perimetrale "C" della crociera (3,2),
  - lo scarico  $X_{C,D}$  dell'arco perimetrale di contatto tra le due calotte (4,1) e (4,2).

### 3. CONSULTAZIONE DELL'ESEMPIO DI APPRENDIMENTO

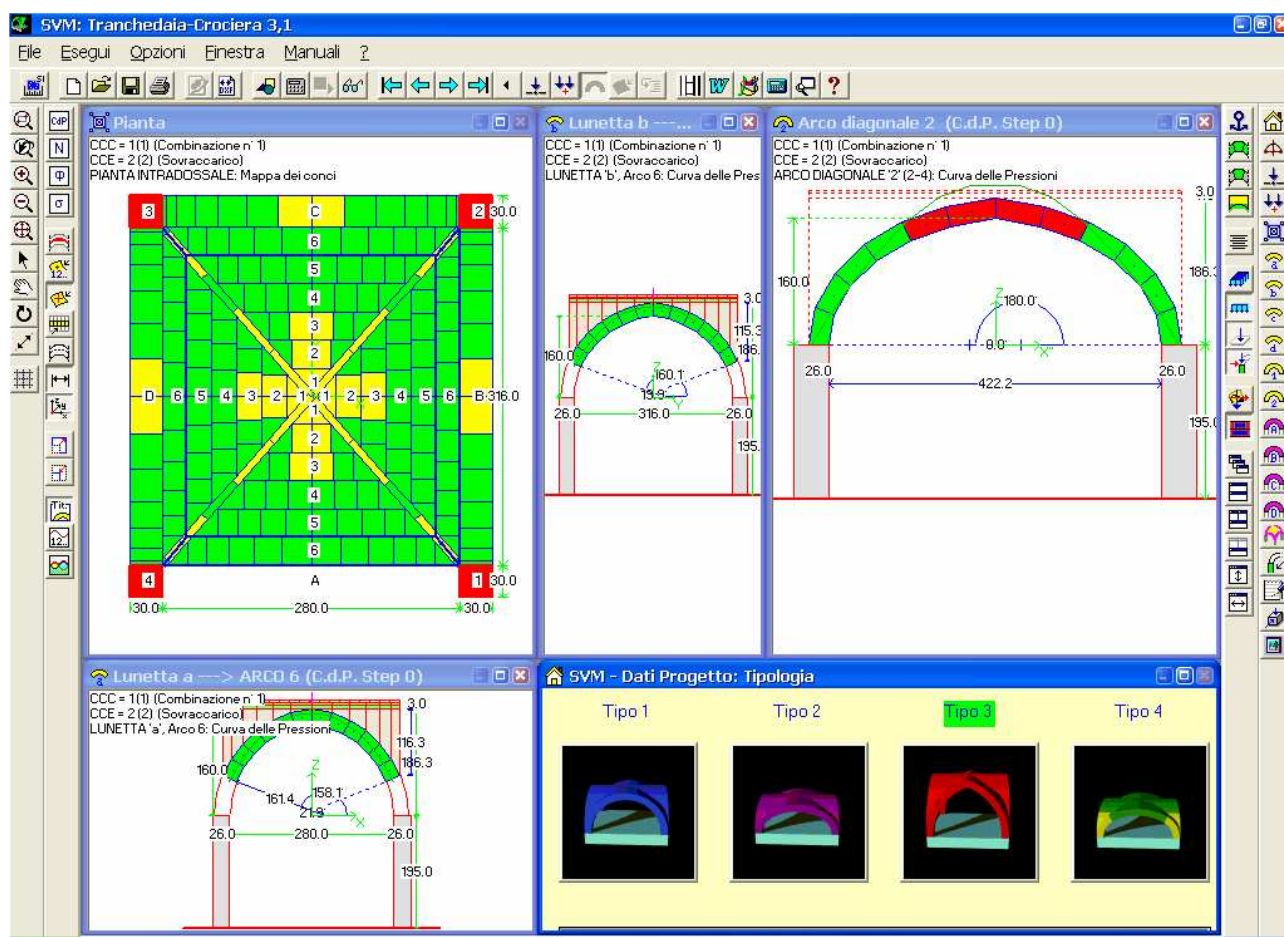
Le volte di Tranchedaia sono state modellate in sette files, che in ordine sequenziale sono:

- 1) "Tranchedaia-Crociera 3,1.svm"
- 2) "Tranchedaia-Crociera 3,2.svm"
- 3) "Tranchedaia-Piedritto angolare.svm"
- 4) "Tranchedaia-Piedritto perimetrale 4,1-4,2.svm"
- 5) "Tranchedaia-Piedritto perimetrale 4,1-3,1.svm"
- 6) "Tranchedaia-Piedritto interno.svm"
- 7) "Tranchedaia-Piedritto interno (con catena).svm"

Al lancio di SvmTutor, viene caricata la volta di avvio, file di default.

Per iniziare, quindi, si attivi la finestra 'SVM - Dati Progetto' (è la finestra principale: contiene infatti i principali menu e consente di scegliere la tipologia geometrica della superficie di intradosso della volta a crociera, potendo scegliere tra il tutto-sesto, l'ellittico, l'ogivale, il policentrico a tre centri), semplicemente facendo clic sulla sua superficie giallo-chiaro.

Si scelga il menu 'File → Apri' e si selezioni il percorso UnitàDisco + 'Aedes2008 → SvmTutor → Es-Progetti → E-p-01 Podere di Tranchedaia'. Si apra infine il primo file del progetto, denominato "Tranchedaia-Crociera 3,1".



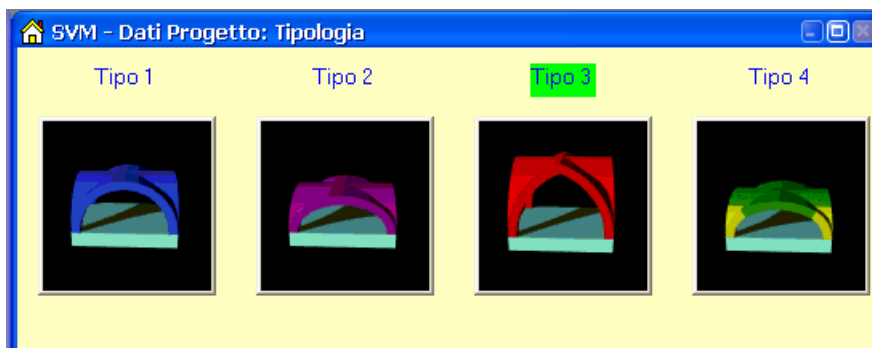
**Fig. 6** – SVM Tutor: modellazione di 'Tranchedaia – Crociera 3,1'.

#### 3.1. LA CROCIERA 3,1

La prima modellazione è riferita alla volta a crociera denominata con gli indici di riga e di colonna (3,1): è la terza campata situata nel primo corridoio laterale a partire dal basso nella figura di riferimento (fig. 2). Questa struttura occupa così una posizione perimetrale nel vasto ambiente voltato: confina su un lato con la parete perimetrale longitudinale, per due lati con due campate gemelle e per un lato (il più corto in pianta) con la campata (3,2) del corridoio centrale. Pertanto, secondo la nomenclatura utilizzata in SVM, la struttura è costituita da una volta a crociera su pianta rettangolare (280x316 cm) impostata a 195 cm

da terra e confinata sui tre lati (2,1), (3,2) e (4,1) da tre archi perimetrali (B,C,D) che la dividono dalle crociere limitrofe.

Aperto il file, secondo la procedura sopra descritta, nella finestra principale si illumina di verde la tipologia 3 (ogivale): è questa infatti la tipologia della superficie di intradosso che è stata scelta per modellare la volta.



**Fig. 7** – SVM: 'Dati Progetto': tipologia ogivale.

Si faccia dunque clic sull'immagine animata della volta ogivale, aprendo così la finestra 'Dati Struttura': questa finestra è composta da cinque schede principali più altre secondarie (riferite ai materiali strutturali). Ispezionando le schede si consultino i dati di input (nota: è possibile modificare i dati e visualizzare come varia la struttura, ma il calcolo del file di esempio verrà perso. E' quindi necessario in tal caso aprire nuovamente il file originario per consultarne dati e risultati).



**Fig. 8** – SVM: 'Dati Struttura': definizione del modello.

I dati relativi alla modellazione (3,1), riportati nelle schede, sono i seguenti:

**TIPOLOGIA:**

Ogivale

**VOLTA:**

**PIANTA:**

Lato a = 280 cm  
Lato b = 316 cm

**GEOMETRIA:**

Spessore = 26 cm  
Freccia = 160 cm

**COSTOLONI:**

check no (non sono presenti)

NUMERO DI ARCHI IDEALI: 6

**MATERIALI:**

23) 6-LC1) con malta di buone caratteristiche  
Peso Specifico: 2000 kgf/m<sup>3</sup>

Angolo di Attrito dei giunti: 35°  
 Resistenza media a compressione  $f_m$ : 27 kgk/cm<sup>2</sup>  
 Fattore di confidenza FC: 1.35

**PIEDRITTI:**

GEOMETRIA: Sezione Quadrata  
 Lx = 30 cm  
 Ly = 30 cm  
 H = 195 cm

**MATERIALI:**

23) 6-LC1) con malta di buone caratteristiche  
 Peso Specifico: 2000 kgf/m<sup>3</sup>  
 Angolo di Attrito dei giunti: 35°  
 Resistenza media a compressione  $f_m$ : 27 kgk/cm<sup>2</sup>  
 Fattore di confidenza FC: 1.35

**ARCHI PERIMETRALI "B", "C", "D":**

**MATERIALI:**

23) 6-LC1) con malta di buone caratteristiche  
 Peso Specifico: 2000 kgf/m<sup>3</sup>  
 Angolo di Attrito dei giunti: 35°  
 Resistenza media a compressione  $f_m$ : 27 kgk/cm<sup>2</sup>  
 Fattore di confidenza FC: 1.35

**TIPOLOGIA:**

Tutto Sesto

**GEOMETRIA:**

Quota imposta = 195 cm  
 Angolo di imposta = 0 cm  
 Freccia = 158 cm  
 Spessore = 20 cm  
 Numero di conci = 14

**CONTORNO:**

Rinfianco = 1300 kgf/m<sup>3</sup>  
 Quota del Rinfianco = 186.3 cm  
  
 Sottofondo = 2000 kgf/m<sup>3</sup>  
 Spessore = 7 cm  
  
 Pavimento = 1800 Kg/mc  
 Spessore = 3 cm

**CONTORNO:**

Rinfianco = 1300 Kg/mc  
 Quota del Rinfianco = 186.3 cm  
  
 Sottofondo = 2000 Kg/mc  
 Spessore = 7 cm  
  
 Pavimento = 1800 Kg/mc  
 Spessore = 3 cm

**RINFORZI:**

Nessun Rinforzo

Successivamente sono state definite due Condizioni di Carico Elementari (CCE): si scelga il 'Menu Finestra → Condizioni di Carico Elementari'.

Dati Condizioni di Carico Elementari (CCE) (2)											
N°	Commento	P.p Struttura	P.p Rinfianco	P.p Sottofondo	P.p Pavimento	Carichi di Superficie	Car. conc. sui Piedritti	Car. conc. sull'Arco A	Car. conc. sull'Arco B	Car. conc. sull'Arco C	Ci su
1	Pesi Propri	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
2	Sovraccarico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

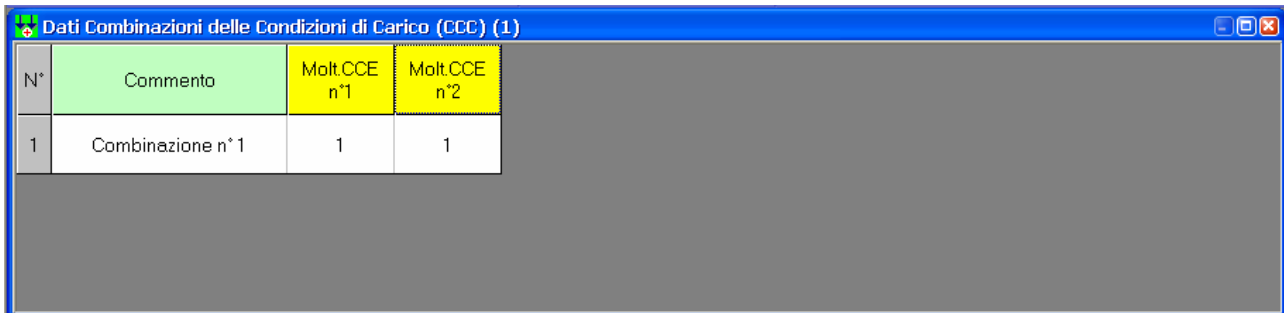
**Fig. 9 – Le Condizioni di Carico Elementari.**

La prima condizione di carico contiene tutti i pesi propri, sia quelli strutturali che quelli portati (i bottoni di check nelle caselle corrispondenti sono infatti tutti spuntati).

La seconda condizione di carico descrive solo la presenza di un sovraccarico di 400 kg/m<sup>2</sup> (tutti i check riferiti ai pesi sono infatti deselezionati): si faccia clic sulla cella in seconda riga e in sesta colonna (Carichi di Superficie). Vengono così mostrati i dati riferiti al sovraccarico, che viene simulato con un carico distribuito su tutta la superficie voltata.

L'analisi che si desidera compiere dovrà combinare insieme le due condizioni di carico suddette. Per far ciò si scelga il 'Menu Finestra → Combinazioni delle Condizioni di Carico'. E' sufficiente descrivere una sola Combinazione, sovrapponendo gli effetti: per questo motivo i moltiplicatori delle condizioni di carico valgono 1. Questo significa che verrà eseguito un solo calcolo:

$$CCC(1) = CCE(1) + CCE(2)$$



N°	Commento	Molt.CCE n°1	Molt.CCE n°2
1	Combinazione n°1	1	1

**Fig. 10** – Le Combinazioni delle Condizioni di Carico.

Disponendo della versione SVM Professionale è possibile lanciare il calcolo dal 'Menu Esegui → Analisi' o premendo il tasto F7, dopo aver chiuso le due finestre 'Combinazioni delle Condizioni di Carico' e 'Condizioni di Carico Elementari', attivando così nuovamente la finestra 'SVM – Dati Progetto'.

Dallo studio di questo modello si possono trarre utili informazioni sulla stabilità della volta a crociera e degli archi perimetrali: è superfluo infatti dichiarare che non possono essere ritenuti attendibili i risultati relativi alle strutture di elevazione, essendo queste ultime in parte costituite da una parete longitudinale (non modellata) e da due pilastri che risultano sollecitati anche dagli scarichi delle crociere adiacenti. Per studiare appunto tali pilastri, sono stati realizzati altri modelli che verranno descritti più avanti.

Dal 'Menu Esegui → Test di Stabilità' si consultino dunque i primi risultati significativi: la fig. 11 evidenzia la stabilità sia della crociera sia degli archi perimetrali.

Come precedentemente dichiarato, la campata 3,1 deve essere considerata come una *campata tipo*: il suo comportamento è dunque rappresentativo di tutte le quattro più quattro crociere disposte sui due corridoi longitudinali dell'ambiente delle stalle.

Ogni arco, ideale o reale che sia, è stato processato con il metodo di analisi iterativo descritto nella prima parte del volume; pertanto è significativo conoscere il numero di step eseguiti per il conseguimento della condizione di stabilità. E' infatti evidente che ad ogni passo eseguito, in un arco si indebolisce la sezione interessata dalla coazione, che si degrada staticamente poiché il vincolo di incastro interno originario (triplo pendolo) si viene a deteriorare in un vincolo di cerniera (si può pensare ad una cerniera ideale come intersezione tra la biella di sforzo normale rimasta illesa e la biella di taglio). Ogni cerniera risulta inoltre un punto obbligato di passaggio del poligono funicolare: di conseguenza, in accordo con la teoria di Heyman, il poligono funicolare risulta al massimo tangente alla sagoma dell'arco in intradosso o in estradosso, per il resto deve risultare tutto interno.

Il rapporto dell'elaborazione fornisce anche il *modulo RNE (Residuo Non Equilibrato)*. Ricordiamo che il residuo non equilibrato permette di verificare il pieno soddisfacimento di un qualsivoglia sistema di equazioni, una volta ottenuta la soluzione, precedentemente incognita. Nel nostro caso, posto il sistema di equazioni lineari, con limitazione sul segno delle incognite:

$$\begin{cases} \mathbf{AX} = \mathbf{F} \\ \mathbf{X} \leq 0 \end{cases} \quad (\text{a})$$

e ricavato il vettore soluzione degli sforzi nella forma:

$$X_{(i)} = X_0 + X_N \quad (b)$$

al generico step "i", è evidente che sostituendo a ritroso  $X_{(i)}$  in (a), deve essere:

$$AX_{(i)} = F \quad (c)$$

ovvero:

$$AX_{(i)} - F = 0 \quad (d)$$

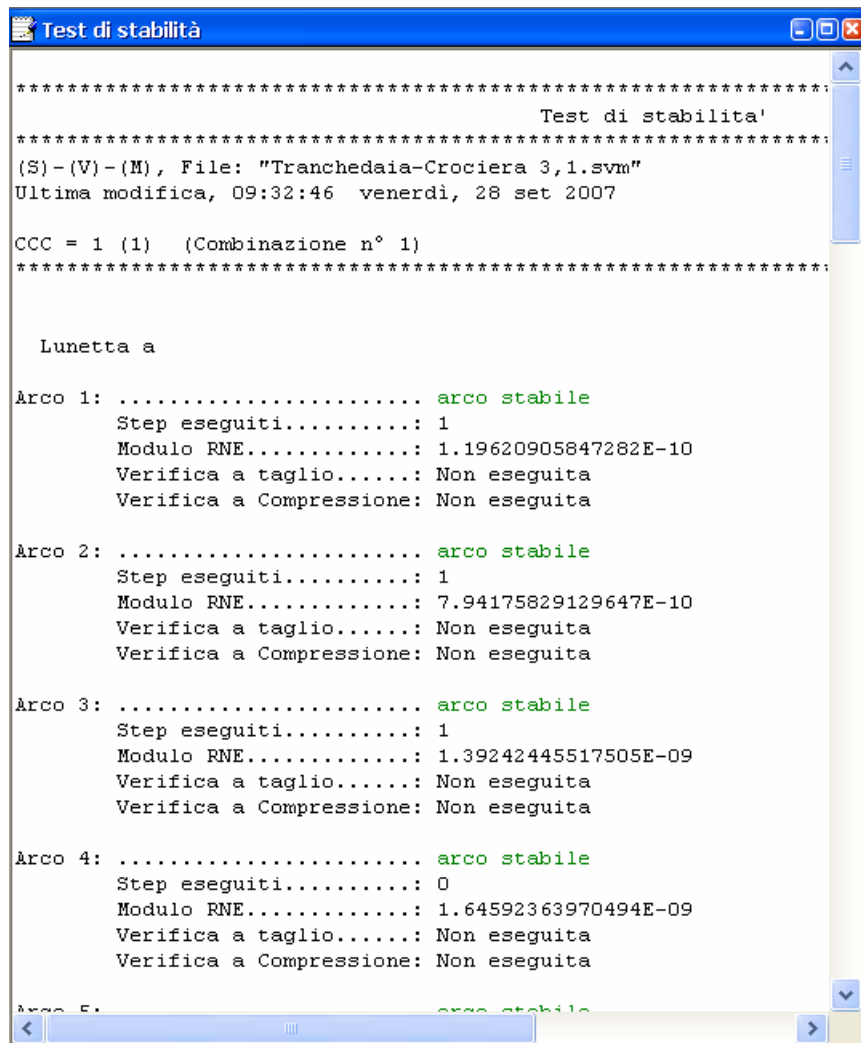
Si definisce dunque:

$$RNE = ||AX - F|| \quad (e)$$

la norma euclidea del vettore differenza dei due vettori AX e F. Se il sistema è equilibrato tale valore deve essere zero, o, per meglio dire, uno zero di macchina.

Pertanto è possibile concludere che, a calcolo eseguito, la soluzione dovrà sempre essere equilibrata e congruente:

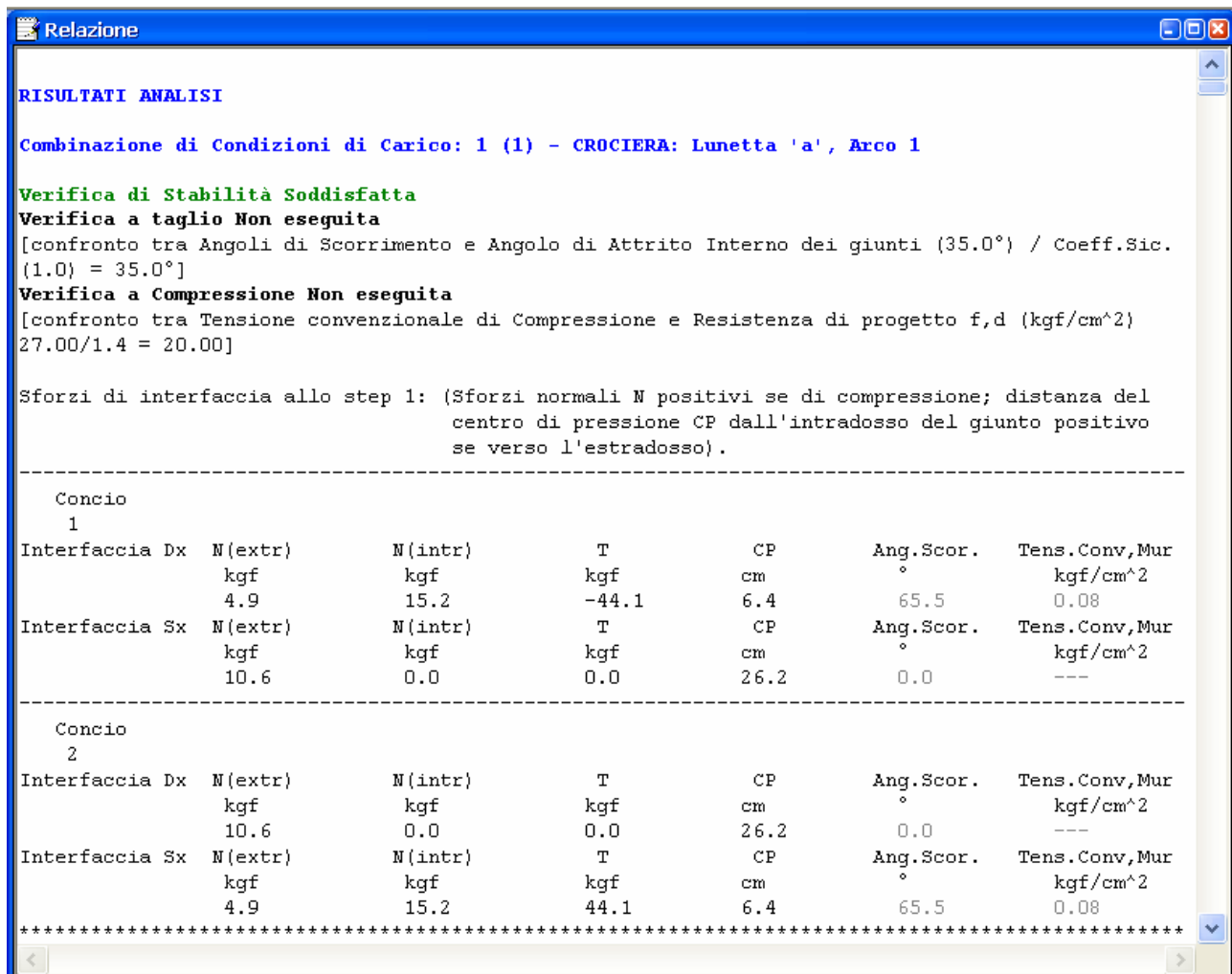
- *la soluzione è equilibrata*, dunque, quando  $RNE = 0$ ;
- *la soluzione è congruente* quando è  $X \leq 0$ , per ogni sua componente di sforzo normale (compressione);
- *la struttura è stabile* quando la soluzione è equilibrata e congruente.



**Fig. 11** – SVM: il Rapporto di Elaborazione fornisce: indicazioni sulla stabilità di ogni arco e di ogni pilastro, il numero di step eseguiti dal processo numerico per trovare la convergenza, il residuo non equilibrato ed i risultati delle verifiche di resistenza eventualmente condotte a posteriori.



E' possibile adesso consultare in dettaglio anche i valori degli sforzi che attraversano, concio per concio, arco per arco, l'intera struttura. Si scelga il 'Menu Finestra → Relazione' (sempre dalla finestra 'SVM - Dati Progetto):

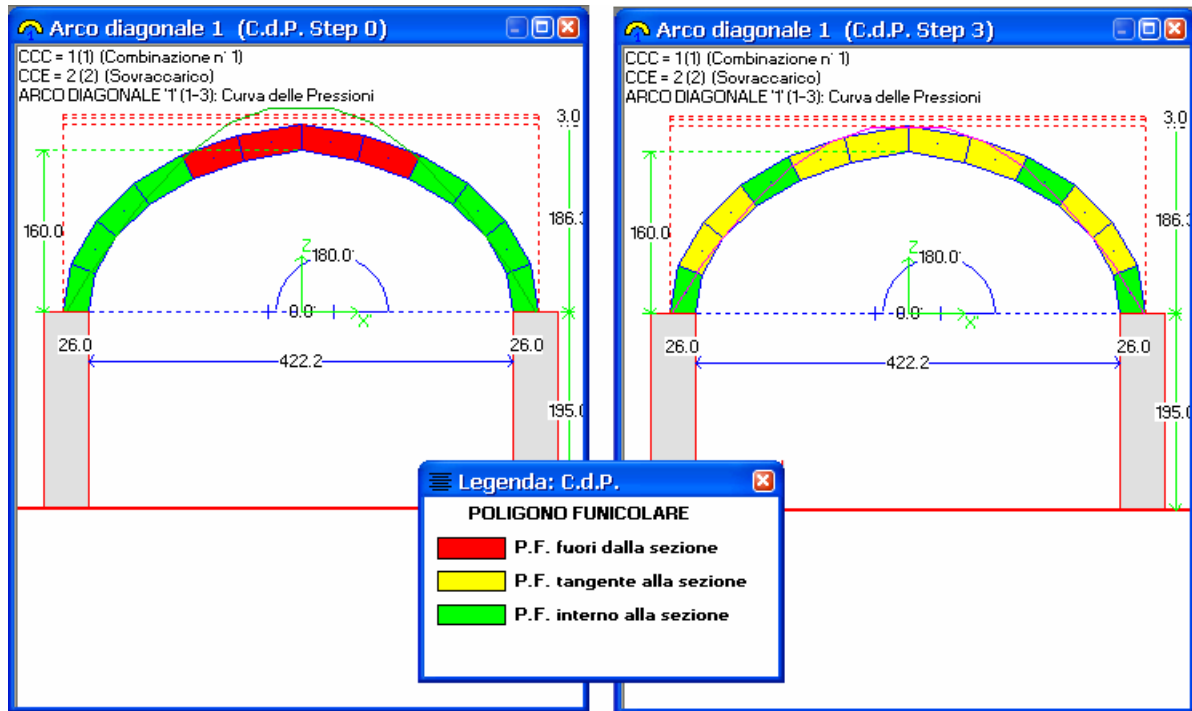


**Fig. 12** – La finestra relazione offre un rapporto dettagliato sui risultati di ogni sottostruttura analizzata.

Poiché la stabilità o meno di un arco (volta) è affidata a considerazioni di tipo statico-grafico (confronto tra la curva delle pressioni e la sagoma della struttura), è interessante visualizzare anche la posizione della curva delle pressioni. Si osservi ad esempio quella del primo arco diagonale, che viene rappresentata nella finestra in alto a destra. Sfolgiando, successivamente, ogni step, appare evidente il criterio utilizzato dal processo iterativo di calcolo attraverso il quale viene ricercata una situazione di equilibrio: in accordo infatti al teorema statico dell'analisi limite, una struttura è stabile se è possibile individuare uno stato di sollecitazioni interne in equilibrio con i carichi assegnati, che equivale appunto a ricavare una curva delle pressioni dentro lo spessore di tutte le sezioni studiate della struttura stessa. Per modificare lo step corrente per l'arco in questione, si faccia clic sulla 'Finestra Arco Diagonale 1' per portarla in primo piano e renderla attiva. Successivamente, nella barra degli strumenti orizzontale in alto, subito sotto i menu, si preme prima il bottone 'iterazione', poi i quattro bottoni a frecce alla sua sinistra.



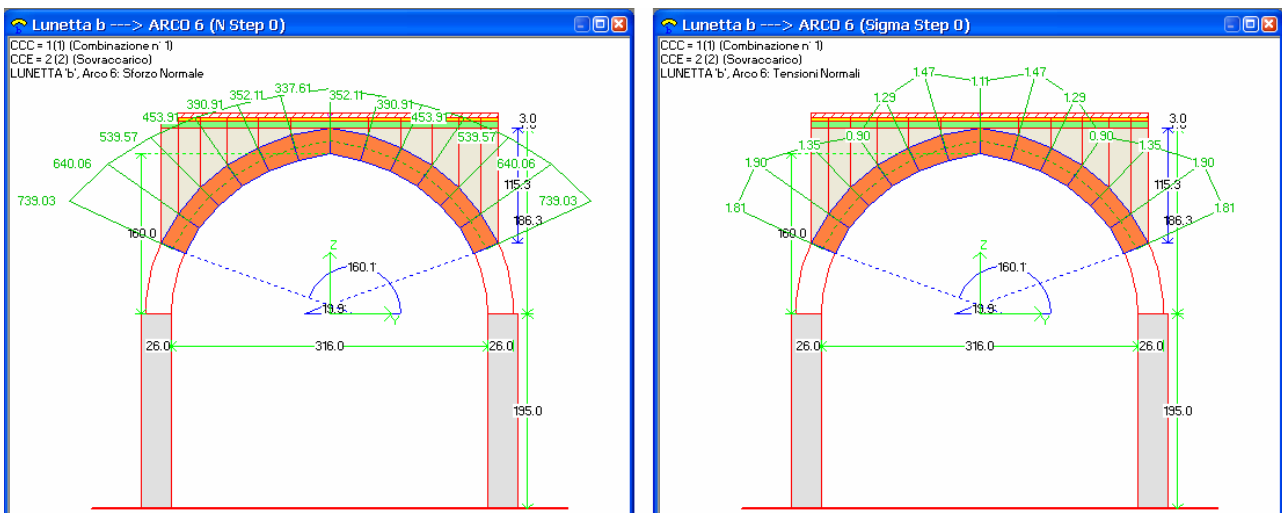
Il poligono funicolare della soluzione di tentativo è fuori nelle tre sezioni centrali dei quattro conci di chiave; con tre step si raggiunge la soluzione finale equilibrata e congruente: l'arco è stabile in quanto il poligono funicolare rientra dentro la sagoma dell'arco risultando tangente all'intradosso nelle due sezioni di reni e all'estradosso nella sezione di chiave, punti quindi sedi di cerniere di rotazione.



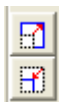
**Fig. 13** – Arco Diagonale 1: evoluzione della posizione della Curva delle Pressioni dalla soluzione di tentativo fino alla soluzione finale.



Tutte le finestre grafiche piane consentono anche la visualizzazione dei diagrammi dello sforzo normale, dell'angolo di scorrimento e delle tensioni convenzionali di compressione: scegliendo, ad esempio, l'arco 6 della lunetta b (fare clic sulla 'Finestra Lunetta b' per renderla attiva, poi premere i bottoni 'C.d.P', 'N', 'Φ', 'σ' nella seconda barra degli strumenti verticale a sinistra) otteniamo i grafici riportati in fig. 14:



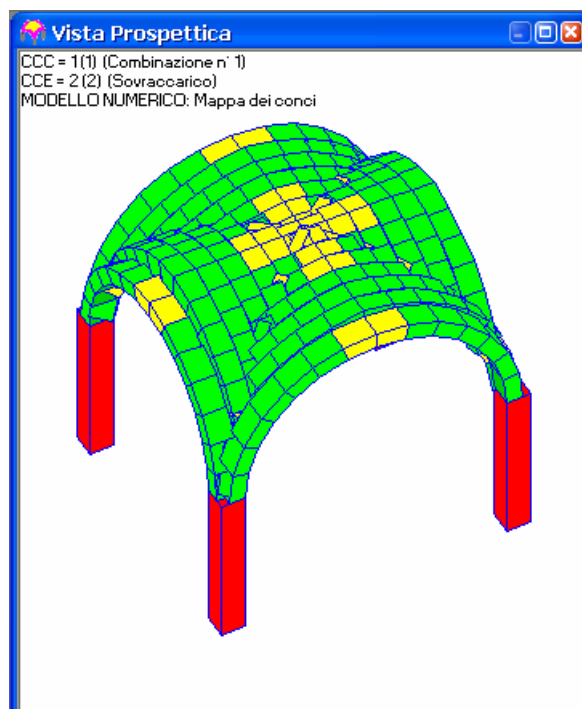
**Fig. 14** – Arco ideale 6 della Lunetta 'b': diagrammi dello Sforzo Normale e degli Angoli di Scorrimento.



E' sempre possibile scalare i diagrammi e/o il disegno attraverso i bottoni presenti sulla stessa barra.



Poiché la metodologia di analisi consiste in una scomposizione geometrica a priori della struttura in archi ideali o reali e questi ultimi in conci, è interessante osservare l'intero modello analizzato: si scelga così il 'Menu Finestra → Vista Prospettica':



**Fig. 15** – Il modello a conci rigidi della struttura: mappa dei conci in funzione della loro stabilità.

Sempre in accordo alla legenda dei colori sopra riportata, i conci vengono mappati in relazione alla loro condizione di stabilità: sono rossi i conci instabili (poligono funicolare esterno ad una o ad entrambe le sezioni destra e sinistra del concio), gialli quelli stabili al limite (poligono funicolare tangente all'intradosso o all'estradosso in una o entrambe le sezioni) e verdi quelli stabili (poligono funicolare interno a tutte e due le sezioni).

### 3.2. LA CROCIERA 3,2

Attraverso la modellazione della crociera (3,2), in accordo a quanto già illustrato precedentemente, si intende ottenere informazioni sul comportamento strutturale delle quattro crociere (di progetto) del corridoio centrale del vasto ambiente voltato. Anche questa, dunque, risulta essere una *crociera tipo*, scelta volutamente nelle immediate vicinanze della crociera (3,1) precedentemente analizzata.

Si apra dunque il file "Tranchedaia-Crociera 3,2.svm" e si esplorino dati e risultati, dai quali si evince l'evidente condizione di stabilità della crociera e degli archi perimetrali.

### 3.3. IL PIEDRITTO ANGOLARE

Sebbene sia poco significativo lo studio del piedritto angolare (piedritto ideale di sezione quadrata 63x63 cm ottenuto dall'intersezione delle due pareti perimetrali longitudinale e trasversale dell'edificio e da esse estrapolato), viene comunque presentata in questa sede l'analisi di quest'ultimo.

Tale pilastro è esclusivamente sollecitato dallo scarico diagonale della crociera (4,1). La costruzione del modello è semplice e immediata. E' sufficiente recuperare il file della crociera (3,1), gemella della (4,1), togliere tutti gli archi perimetrali e modificare le dimensioni dei piedritti secondo lo schema seguente:

**PIEDRITTI:**

Lx = 63 cm  
Ly = 63 cm  
H = 195 cm

Consultando comunque il file allegato "Tranchedaia - Piedritto angolare.svm" è evidente la condizione di instabilità. Tale risultato è comunque non attendibile in quanto non è molto significativo estrarre un piedritto ideale da una porzione di muratura che risulta in parte collaborante.

Sarebbe interessante infatti definire un parametro geometrico incognito della sezione del pilastro e ricercarne il valore minimo (limite) per il quale il pilastro risulti stabile (sezione ad L).

Infine dovrebbe anche essere considerato il peso della muratura sovrastante, che, come noto, tende a stabilizzarlo.

### 3.4. IL PIEDRITTO PERIMETRALE 4,1-4,2

Il quarto passo dell'analisi è consistito nello studio di un piedritto ideale estratto dalla muratura perimetrale trasversale, in una posizione di contatto tra la campata (4.1) e (4.2). Anche questo elemento, come il precedente e come lo sarà anche il successivo, rappresentano pure astrazioni dal problema reale: debbono pertanto essere considerate delle semplici dimostrazioni numeriche, valide in un caso in cui gli effettivi sostegni verticali fossero davvero dei pilastri.

Per analizzare tale struttura è stato sufficiente ripartire dalla modellazione (3,1), eliminare tutti gli archi perimetrali ed impostare le nuove dimensioni dei piedritti secondo lo schema:

**PIEDRITTI:**

Lx = 63 cm  
Ly = 30 cm  
H = 195 cm

A questo punto è stato inserito nuovamente l'arco perimetrale "C", utilizzando i dati illustrati precedentemente.

Per concludere con l'inserimento dei dati non è restato altro che simulare sul pilastro n°3 lo scarico diagonale della crociera (4,2): vettore che per intensità, direzione, verso e punto di applicazione può essere desunto dalla soluzione precedentemente ottenuta della campata (3,2), gemella della (4,2).

Si riportano qui i risultati delle azioni trasmesse alle imposte (piedritti) dall'arco diagonale 1 della crociera (3,2) contenuti nel file "Tranchedaia-Crociera 3,2.svm"; si scelga il 'Menu Esegui → Risultati Archi diagonali → Risultati calcolo strutturale':

```
*****
                                Risultati Strutturali
*****
(S)-(V)-(M), File: "Tranchedaia-Crociera 3,2.svm"
Ultima modifica, 09:32:53 venerdì, 28 set 2007

CCC = 1 (1) (Combinazione n° 1)
*****
                                *****
                                *   Arco diagonale 1 : (1-3)   *
                                *****
```

(.....)

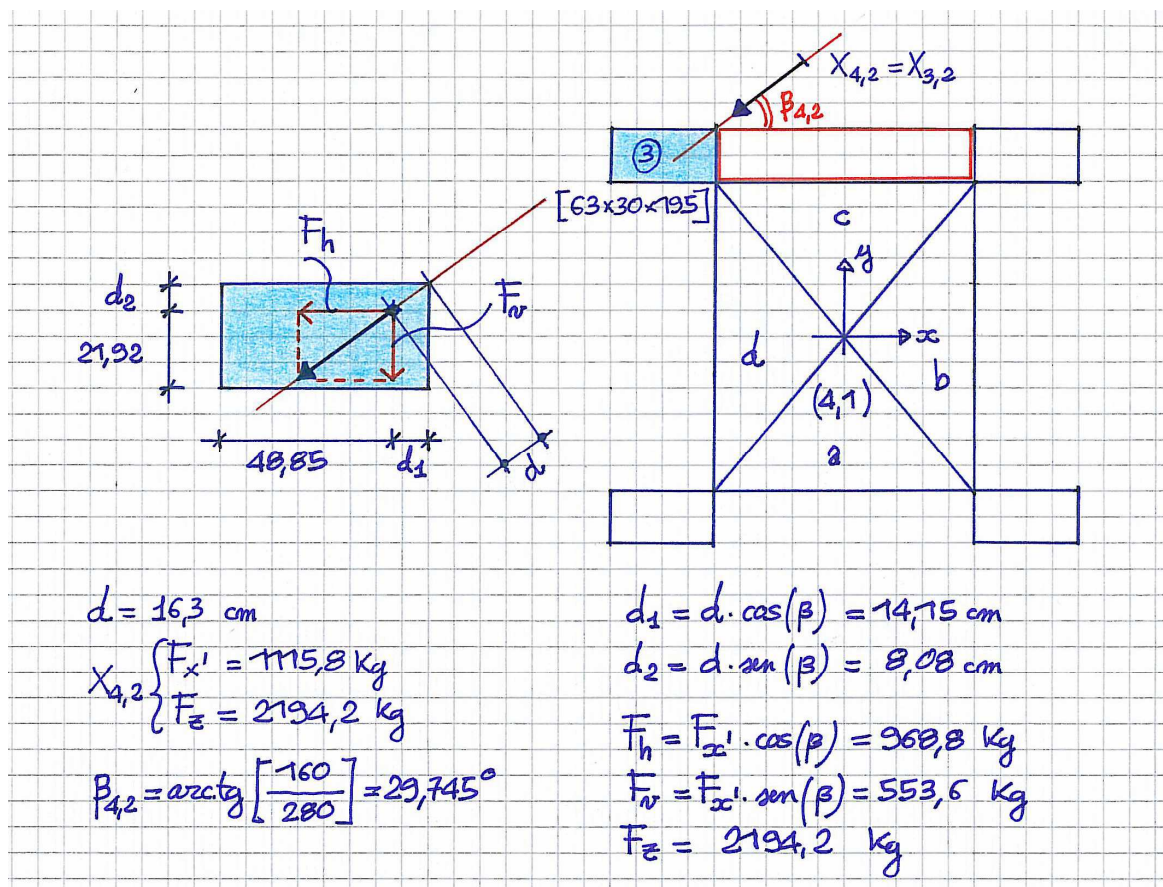
sollecitazioni alle imposte riferite allo step 2.(arco stabile)

	Imposta Destra	Imposta sinistra
Distanza del C.P. dall'intradosso:	16.3 cm	16.3 cm
Sforzo normale totale:	2194.2 kgf	2194.2 kgf
Sforzo risultante:	2461.6 kgf	2461.6 kgf
Spinta orizzontale sul piedritto:	1115.8 kgf	-1115.8 kgf
Spinta verticale sul piedritto:	-2194.2 kgf	-2194.2 kgf

Con i pochi calcoli illustrati in fig.16, si arrivano a definire le componenti della forza concentrata che deve essere aggiunta sul piedritto per simulare lo scarico della crociera.

Per quanto riguarda la nomenclatura utilizzata si veda il seguente specchietto:

- $X_{i,j}$  = scarico diagonale trasmesso dalla crociera (i,j) al piedritto di analisi, attraverso l'arco diagonale, di componenti orizzontale  $F_x'$  (spinta) e verticale  $F_z$  (carico) diretta verso il basso, entrambe appartenenti al piano verticale dell'arco diagonale (piano  $x',z$ , se intendiamo usare la nomenclatura di SVM);
- $\beta_{i,j}$  = angolo di inclinazione della componente orizzontale del vettore  $X_{i,j}$  rispetto all'orizzontale, che è uguale all'angolo di inclinazione del piano diagonale rispetto all'orizzontale, vale a dire dell'asse  $x'$  rispetto all'orizzontale, che può essere per il caso specifico o l'asse X o l'asse Y;
- $d$  = distanza del CP (Centro di Pressione: punto di applicazione del vettore) dall'intradosso del primo o dell'ultimo concio dell'arco diagonale, misurato sull'interfaccia destra (sinistra). Essendo una distanza inclinata rispetto al sistema di riferimento, misurata lungo l'asse  $X'$ , può essere scomposta lungo le due direzioni X e Y nelle distanze  $d_1$  e  $d_2$ ;
- $F_h$ ,  $F_v$ ,  $F_z$  = componenti della forza che verrà aggiunta sul piedritto, con direzioni X,Y,Z.



**Fig. 16** - Calcolo delle componenti dello scarico diagonale  $X_{4,2}$ .

**PIEDRITTO 3: --- FORZA CONCENTRATA 1 ---**

PUNTO DI APPLICAZIONE:

48.85 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO  
 21.92 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO  
 195 cm DA TERRA

INTENSITA':

$F_x = -553.6 \text{ Kg}$   
 $F_y = -968.8 \text{ Kg}$   
 $F_z = -2194.2 \text{ Kg}$

Aperto il file "Tranchedaia-Piedritto perimetrale 4,1-4,2.svm", è possibile esplorare tutti i carichi che sollecitano la struttura: a tal proposito si sceglie il 'Menu Finestra → Condizioni di Carico Elementari':

N°	Commento	P.p. Struttura	P.p. Rinfianco	P.p. Sottofondo	P.p. Pavimento	Carichi di Superficie	Car. conc. sui Piedritti	Car. conc. sull'Arco A	Car. conc. sull'Arco B
1	Pesi Propri	✓	✓	✓	✓	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]
2	Sovraccarico	■	■	■	■	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]
3	Scarico Diagonale X(4,2)	■	■	■	■	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]	[Diagram]

**Fig. 17** – Le tre condizioni di carico elementari per la struttura corrente.

Secondo la figura sopra riportata, la prima CCE comprende tutti i pesi propri, sia quelli strutturali che quelli portati, la seconda un sovraccarico (carico di superficie distribuito su tutta la struttura), la terza rappresenta invece la forza concentrata  $X_{4,2}$  aggiunta sul piedritto n°3. Per consultare quest'ultima si faccia doppio-clic sulla cella 'Car. Conc. Sui Piedritti' presente nella terza riga della tabella:

N°	Piedritto 1	Piedritto 2	Piedritto 3	Piedritto 4	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fz (kgf)	distX (cm)	distY (cm)
1	●	●	●	●	-553.6	-968.8	-2194.2	48.85	21.92

**Fig. 18** – Lo scarico diagonale  $X_{4,2}$  sul piedritto n°3.

Infine, scegliendo il 'Menu Esegui → Risultati Piedritti → Risultati calcolo strutturale', è possibile visualizzare i risultati del piedritto n°3, oggetto di studio:

```

*****
                                Risultati Strutturali
*****
(S)-(V)-(M), File: "Piedritto perimetrale 4,1 - 4,2.svm"
Ultima modifica, 09:33:10 venerdì, 28 set 2007

CCC = 1 (1) (Combinazione n° 1)
*****
                                *****
                                *      Piedritti      *
                                *****

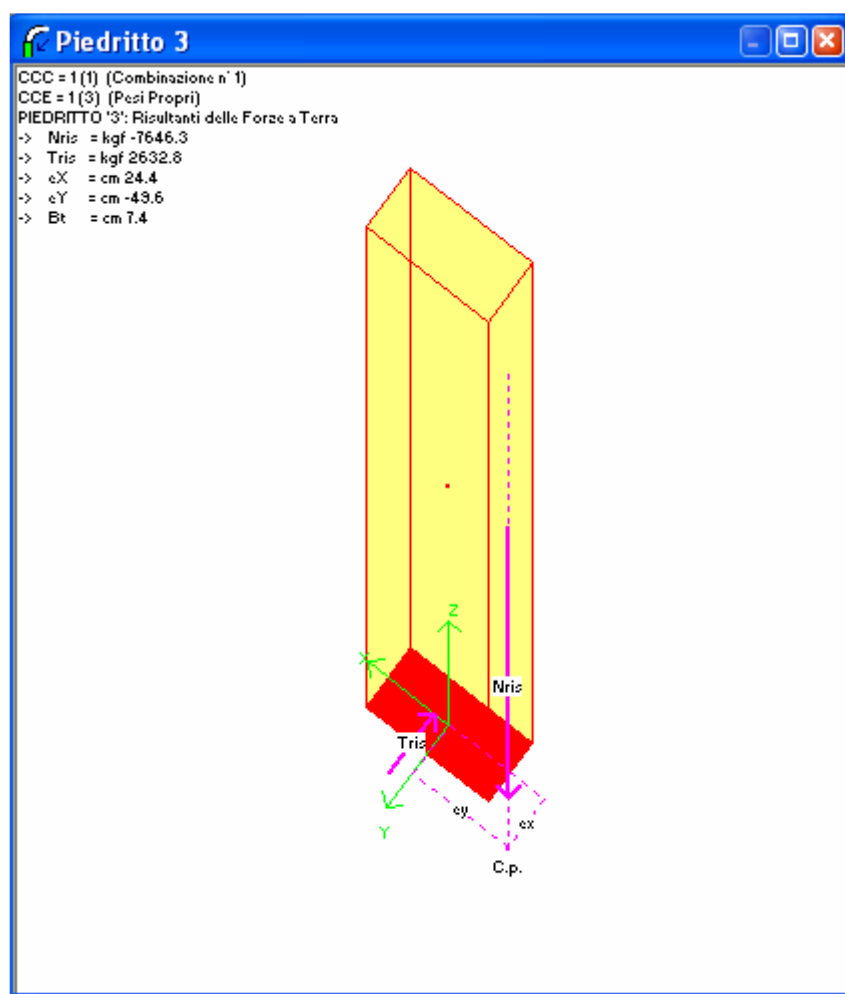
sollecitazioni trasmesse al piede del pilastro: (Forze e momenti positivi se secondo la terna
                                                    levogira. Eccentricità nelle direzioni X ed Y
                                                    calcolate rispetto al baricentro della sezione
                                                    ai piedi dei piedritti.)

-----
Piedritto      Fx      Fy      Fz      ex      ey
1              kgf     kgf     kgf     cm      cm
              1580.3   -1783.5 -4501.7 -80.1    55.7
              Mx      My      Mz      Braccio Torsione
  
```



	Kgfc -360467.3	Kgfc -250852.4	Kgfc -32476.0	cm 13.6	
Piedritto 2	Fx kgf 1950.0	Fy kgf 1783.5	Fz kgf -5452.1	eX cm 66.1	eY cm 56.7
	Mx Kgfc 360467.3	My Kgfc -309008.6	Mz Kgfc 32476.0	Braccio Torsione cm 12.3	
Piedritto 3	Fx kgf -2503.6	Fy kgf 814.7	Fz kgf -7646.3	eX cm 24.4	eY cm -49.6
	Mx Kgfc 186735.1	My Kgfc 378891.2	Mz Kgfc -19498.2	Braccio Torsione cm 7.4	
Piedritto 4	Fx kgf -1580.3	Fy kgf -1783.5	Fz kgf -4501.7	eX cm -80.1	eY cm -55.7
	Mx Kgfc -360467.3	My Kgfc 250852.4	Mz Kgfc 32476.0	Braccio Torsione cm 13.6	
*****					

E' conveniente visualizzare anche graficamente la soluzione: si scelga il 'Menu Finestra → Piedritti' dalla 'Finestra SVM - Dati Progetto', successivamente il 'Menu Opzioni → Piedritto 3' dalla 'Finestra Piedritto'.



**Fig. 19** - Il piedritto perimetrale 4,1-4,2 (estratto dalla muratura perimetrale trasversale).

Evidentemente anche in questo caso il pilastro non risulta verificato, essendo il centro di pressione esterno alla sua sezione di terra: la verifica al ribaltamento non è soddisfatta. Le motivazioni sono sempre le stesse: sottostima dei carichi della muratura del piano primo, che svolgono certamente un'azione stabilizzante e che non sono state computate, e il fatto che il pilastro non è un elemento a se stante ma è in realtà parte della muratura perimetrale che collabora ed assorbe gli sforzi.

### 3.5. IL PIEDRITTO PERIMETRALE 4,1-3,1

Per lo studio di questo piedritto, che è parte del setto murario longitudinale, a cavallo tra la campata (3,1) e la campata (4,1), si è scelto di ripartire, per la modellazione, dal file "Tranchedaia - Crociera 3,1.svm", modificandolo secondo le seguenti istruzioni:

- nella 'Finestra Dati Struttura' si scelga la scheda 'Archi Perimetrali' e si preme il bottone 'Elimina Tutti'
- si impostino le nuove dimensioni dei piedritti, per rappresentare fedelmente la geometria del piedritto indagato, secondo la legenda sotto riportata (scheda 'Piedritti):

**PIEDRITTI:**

Lx = 30 cm  
Ly = 63 cm  
H = 195 cm

- si inserisca nuovamente l'arco perimetrale 'D', utilizzando sempre gli stessi dati utilizzati in precedenza.

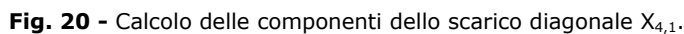
A questo punto non rimane altro che applicare sul piedritto 4 (quello che desideriamo analizzare) lo scarico diagonale  $X_{4,1}$  della crociera (4,1).

A tale scopo si recuperino i risultati delle azioni trasmesse alle imposte dagli archi diagonali della crociera (4,1), uguali a quelle della (3,1):

```
*****
                                Risultati Strutturali
*****
(S)-(V)-(M), File: "Tranchedaia-Crociera 3,1.svm"
Ultima modifica, 09:32:46 venerdì, 28 set 2007

CCC = 1 (1) (Combinazione n° 1)
*****
                                *****
                                * Arco diagonale 1 : (1-3) *
                                *****
                                (.....)
*****
sollecitazioni alle imposte riferite allo step 3.(arco stabile)
-----
Distanza del C.P. dall'intradosso:      Imposta Destra      Imposta sinistra
Sforzo normale totale:                  24.5 cm            24.5 cm
Sforzo risultante:                      3764.6 kgf          3764.6 kgf
Spinta orizzontale sul piedritto:       4455.4 kgf          4455.4 kgf
Spinta verticale sul piedritto:         2382.9 kgf          -2382.9 kgf
                                      -3764.6 kgf          -3764.6 kgf
*****
```

Con i pochi calcoli di fig.20 si arrivano a definire le componenti della forza concentrata che deve essere aggiunta sul piedritto per simulare lo scarico della crociera:



PUNTO DI APPLICAZIONE:

16.25 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO  
44.66 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO  
195 cm DA TERRA

INTENSITA' :

F<sub>x</sub> = 1580.3 Kg  
F<sub>y</sub> = -1783.5 Kg  
F<sub>z</sub> = -3764.6 Kg

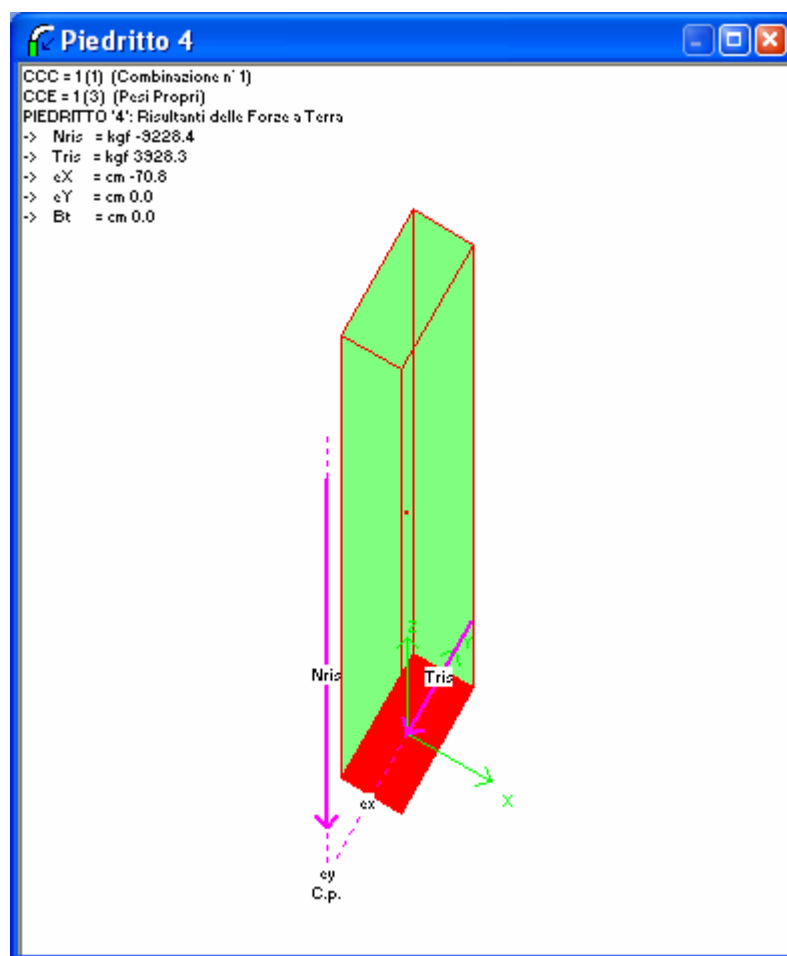
Consultando i risultati del calcolo dei piedritti del file "Tranchedaia – Piedritto Perimetrale 4,1-3,1.svm" si evince l'evidente condizione di instabilità del piedritto, dal momento che il centro di pressione è esterno alla sezione: il pilastro non è verificato al ribaltamento, come era logico aspettarsi. Si desidera comunque fare notare che l'eccentricità del centro di pressione  $E_y$  risulta pari a zero, come è giusto che sia quando una struttura è simmetrica rispetto ad un asse: le due crociere (4,1) e (3,1) sono in perfetto equilibrio e le spinte trasmesse al piedritto sono uguali ed opposte:

23

Piedritto 1	Fx kgf 1580.3	Fy kgf -1783.5	Fz kgf -4501.7	eX cm -66.3	eY cm 69.5
	Mx Kgfc -298351.5	My Kgfc -312968.2	Mz Kgfc 23027.8	Braccio Torsione cm 9.7	
Piedritto 2	Fx kgf 1580.3	Fy kgf 1783.5	Fz kgf -4501.7	eX cm 66.3	eY cm 69.5
	Mx Kgfc 298351.5	My Kgfc -312968.2	Mz Kgfc -23027.8	Braccio Torsione cm 9.7	
Piedritto 3	Fx kgf -1580.3	Fy kgf 2144.8	Fz kgf -5463.8	eX cm 65.0	eY cm -57.3
	Mx Kgfc 355198.9	My Kgfc 312968.2	Mz Kgfc 23027.8	Braccio Torsione cm 8.6	
Piedritto 4	Fx kgf 0.0	Fy kgf -3928.3	Fz kgf -9228.4	eX cm -70.8	eY cm 0.0
	Mx Kgfc -653439.2	My Kgfc 104.0	Mz Kgfc -1.7	Braccio Torsione cm 0.0	

\*\*\*\*\*

Anche graficamente:



**Fig. 21** - Il piedritto perimetrale 4,1-3,1 (estratto dalla muratura perimetrale longitudinale).

### 3.6. IL PIEDRITTO INTERNO

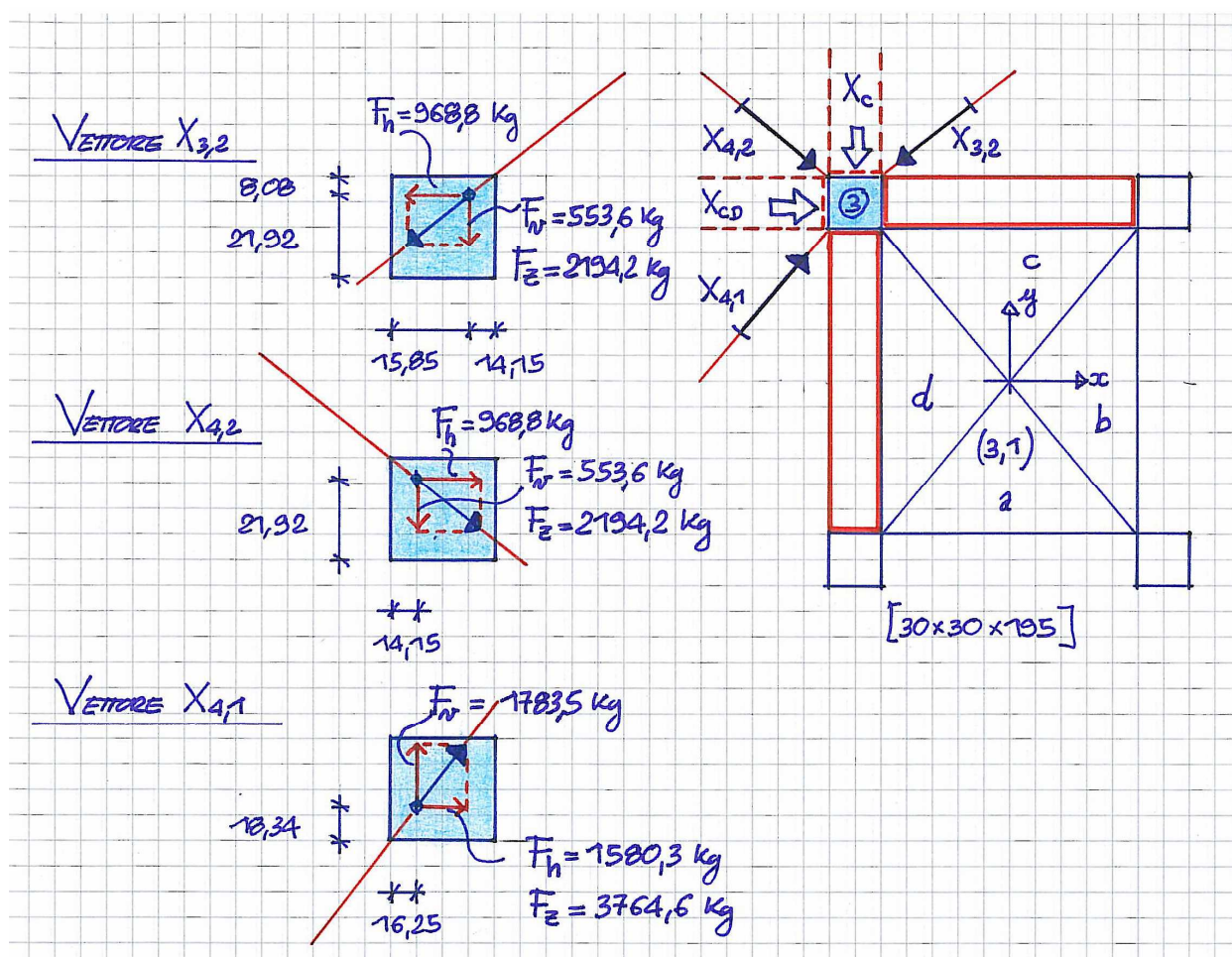
Come ultima analisi, ci proponiamo di analizzare uno dei sei piedritti che scandiscono il corridoio centrale del vasto ambiente della fattoria, separandolo dai due corridoi a destra e a sinistra. Considereremo, in analogia alle indagini condotte sulle crociere, anche questo piedritto come un *piedritto tipo*, rappresentativo cioè del comportamento strutturale di tutti i pilastri sopra definiti.

Ciascuno di questi sei pilastri sostiene quattro volte a crociera (di diversa dimensione) e quattro archi perimetrali: pertanto è necessario definire tutte le azioni trasmesse alle imposte da tali strutture, per valutare la sua stabilità.

Un modo piuttosto semplice per procedere alla modellazione può essere il seguente: recuperare il file "Tranchedaia - Crociera 3,1.svm" ed eliminare l'arco perimetrale 'B'. In questo modo non sarà necessario definire gli scarichi sul pilastro della crociera (3,1) e dell'arco 'D' e 'C': il modello infatti li comprende.

Restano dunque da applicare sul piedritto tutte le forze illustrate in precedenza e che avevamo nominato come vettori  $X_{3,2} - X_C - X_{4,2} - X_{C,D} - X_{4,1}$ .

Si arriva così a definire il file "Tranchedaia - Piedritto interno.svm", che può a questo punto essere aperto e consultato.



**Fig. 22** - Calcolo delle componenti dello scarichi diagonali  $X_{3,2} - X_{4,2} - X_{4,1}$ .

In accordo alla fig. 22 i due vettori identici  $X_{3,2}$  e  $X_{4,2}$ , corrispondenti rispettivamente agli scarichi diagonali delle due crociere (3,2) e (4,2) sul piedritto, si scompongono nelle forze:

**PIEDRITTO 3: --- FORZA CONCENTRATA 1 ---**

PUNTO DI APPLICAZIONE:

21.92 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO

15.85 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO

195 cm DA TERRA

INTENSITA' :

Fx = -968.8 Kg  
Fy = -553.6 Kg  
Fz = -2194.2 Kg

**PIEDRITTO 3: --- FORZA CONCENTRATA 2 ---**

PUNTO DI APPLICAZIONE:

14.15 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO  
21.92 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO  
195 cm DA TERRA

INTENSITA' :

Fx = 968.8 Kg  
Fy = -553.6 Kg  
Fz = -2194.2 Kg

Per quanto riguarda il vettore  $X_{4,1}$ , corrispondente allo scarico diagonale della crociera (4,1) sul piedritto, le componenti secondo gli assi (x,y,z) sono quelle già viste nella precedente analisi del piedritto perimetrale (4,1) - (3,1):

**PIEDRITTO 3: --- FORZA CONCENTRATA 3 ---**

PUNTO DI APPLICAZIONE:

16.25 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO  
18.34 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO  
195 cm DA TERRA

INTENSITA' :

Fx = 1580.3 Kg  
Fy = 1783.5 Kg  
Fz = -3441.2 Kg

Si passi ora a considerare le interazioni trasmesse dagli archi perimetrali (fig. 5). Il vettore  $X_{CD}$  dell'arco perimetrale identico all'arco 'C' della presente struttura, trasmette al piedritto, attraverso l'interfaccia destra del primo concio, otto sforzi (corrispondenti alle otto bielle del modello statico di vincolo di incastro spaziale), che, secondo i risultati forniti da SVM (si vedano i risultati dell'arco perimetrale "C" della crociera (3,1)) sono i seguenti:

\*\*\*\*\*  
Risultati Strutturali  
\*\*\*\*\*  
(S)-(V)-(M), File: "Tranchedaia-Crociera 3,1.svm"  
Ultima modifica, 09:32:46 venerdì, 28 set 2007

CCC = 1 (1) (Combinazione n° 1)

\*\*\*\*\*

(.....)

\*\*\*\*\*  
\* Arco perimetrale C: (3-2) \*  
\*\*\*\*\*

(.....)

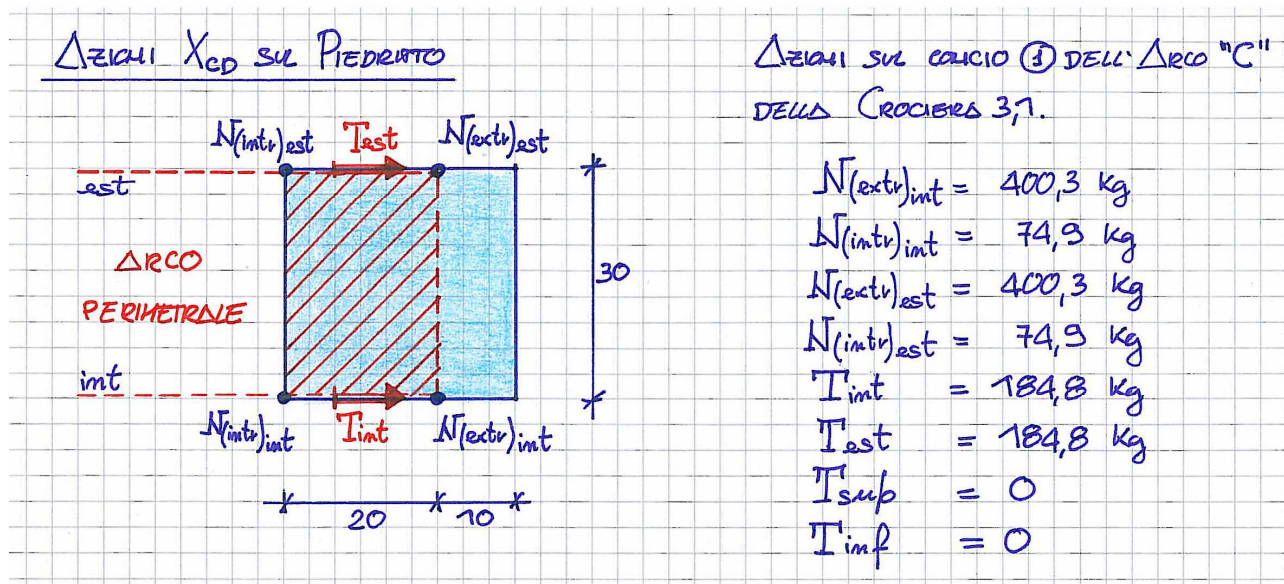
\*\*\*\*\*  
sforzi di interfaccia allo step 2: (sforzi normali N positivi se di compressione).  
-----

Concio						
1						
Interfaccia Dx	N(extr)-est	N(intr)-est	N(extr)-int	N(intr)-int	Ang.Scor	Tens.Conv,Mur
	kgf	kgf	kgf	kgf	°	kgf/cm <sup>2</sup>
	400.3	74.9	400.3	74.9	21.3	6.70
	T-est	T-int	T-sup	T-inf		
	kgf	kgf	kgf	kgf		



	184.8	184.8	0.0	0.0		
Interfaccia Sx	N(extr)-est	N(intr)-est	N(extr)-int	N(intr)-int	Ang.Scov	Tens.Conv,Mur
	kgf	kgf	kgf	kgf	°	kgf/cm <sup>2</sup>
	165.9	302.6	165.9	302.6	10.0	2.93
	T-est	T-int	T-sup	T-inf		
	kgf	kgf	kgf	kgf		
	82.6	82.6	0.0	0.0		

in base ai quali, dopo aver condotto i pochi calcoli preliminari riportati nella figura 23 sono state applicate sul piedritto n°3 le seguenti forze:



**Fig. 23** - Calcolo delle componenti delle azioni X<sub>C,D</sub> dell'arco perimetrale che separa la crociera 4,1 dalla 4,2.

**PIEDRITTO 3: --- FORZA CONCENTRATA 4 ---**

PUNTO DI APPLICAZIONE:  
 0 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO  
 30 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO  
 195 cm DA TERRA

INTENSITA':  
 $F_x = 184,8 \text{ Kg}$   
 $F_y = 0 \text{ Kg}$   
 $F_z = -74,9 \text{ Kg}$

**PIEDRITTO 3: --- FORZA CONCENTRATA 5 ---**

PUNTO DI APPLICAZIONE:  
 0 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO  
 0 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO  
 195 cm DA TERRA

INTENSITA':  
 $F_x = 184,8 \text{ Kg}$   
 $F_y = 0 \text{ Kg}$   
 $F_z = -74,9 \text{ Kg}$

**PIEDRITTO 3: --- FORZA CONCENTRATA 6 ---**

PUNTO DI APPLICAZIONE:  
 20 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO  
 0 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO  
 195 cm DA TERRA

INTENSITA':  
 $F_x = 0 \text{ Kg}$

Fy = 0 Kg  
Fz = -400.3 Kg

**PIEDRITTO 3: --- FORZA CONCENTRATA 7 ---**

PUNTO DI APPLICAZIONE:  
20 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO  
30 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO  
195 cm DA TERRA

INTENSITA':  
Fx = 0 Kg  
Fy = 0 Kg  
Fz = -400.3 Kg

Si consideri ora il vettore  $X_C$  trasmesso dall'arco perimetrale 'C' della crociera (3,2) attraverso l'interfaccia sinistra dell'ultimo concio, rappresentato anch'esso dai soliti otto sforzi d'incastro rigido-fragile spaziale (si osservi ancora la fig. 5)..

L'analisi condotta precedentemente da SVM (si vedano i risultati dell'arco perimetrale "C" della crociera (3,2)) porta ai seguenti risultati:

\*\*\*\*\*  
Risultati Strutturali  
\*\*\*\*\*  
(S)-(V)-(M), File: "Tranchedaia-Crociera 3,2.svm"  
Ultima modifica, 09:32:53 venerdì, 28 set 2007

CCC = 1 (1) (Combinazione n° 1)

\*\*\*\*\*

(.....)

\*\*\*\*\*  
\* Arco perimetrale C: (3-2) \*  
\*\*\*\*\*

(.....)

-----						
Concio						
14						
Interfaccia Dx	N(extr)-est	N(intr)-est	N(extr)-int	N(intr)-int	Ang.Scor	Tens.Conv,Mur
	kgf	kgf	kgf	kgf	°	kgf/cm^2
	143.9	241.9	143.9	241.9	9.5	2.27
	T-est	T-int	T-sup	T-inf		
	kgf	kgf	kgf	kgf		
	-64.4	-64.4	0.0	0.0		
Interfaccia Sx	N(extr)-est	N(intr)-est	N(extr)-int	N(intr)-int	Ang.Scor	Tens.Conv,Mur
	kgf	kgf	kgf	kgf	°	kgf/cm^2
	255.5	129.1	255.5	129.1	21.1	2.55
	T-est	T-int	T-sup	T-inf		
	kgf	kgf	kgf	kgf		
	-148.6	-148.6	0.0	0.0		
*****						

in base ai quali si applicheranno sul piedritto le seguenti forze:

**PIEDRITTO 3: --- FORZA CONCENTRATA 8 ---**

PUNTO DI APPLICAZIONE:  
0 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO  
30 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO  
195 cm DA TERRA

INTENSITA':  
Fx = 0 Kg  
Fy = -148.6 Kg  
Fz = -129.1 Kg

**PIEDRITTO 3: --- FORZA CONCENTRATA 9 ---**

PUNTO DI APPLICAZIONE:

0 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO  
10 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO  
195 cm DA TERRA

INTENSITA':

$F_x = 0$  Kg  
 $F_y = 0$  Kg  
 $F_z = -255.1$  Kg

**PIEDRITTO 3: --- FORZA CONCENTRATA 10 ---**

PUNTO DI APPLICAZIONE:

30 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO  
10 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO  
195 cm DA TERRA

INTENSITA':

$F_x = 0$  Kg  
 $F_y = 0$  Kg  
 $F_z = -255.1$  Kg

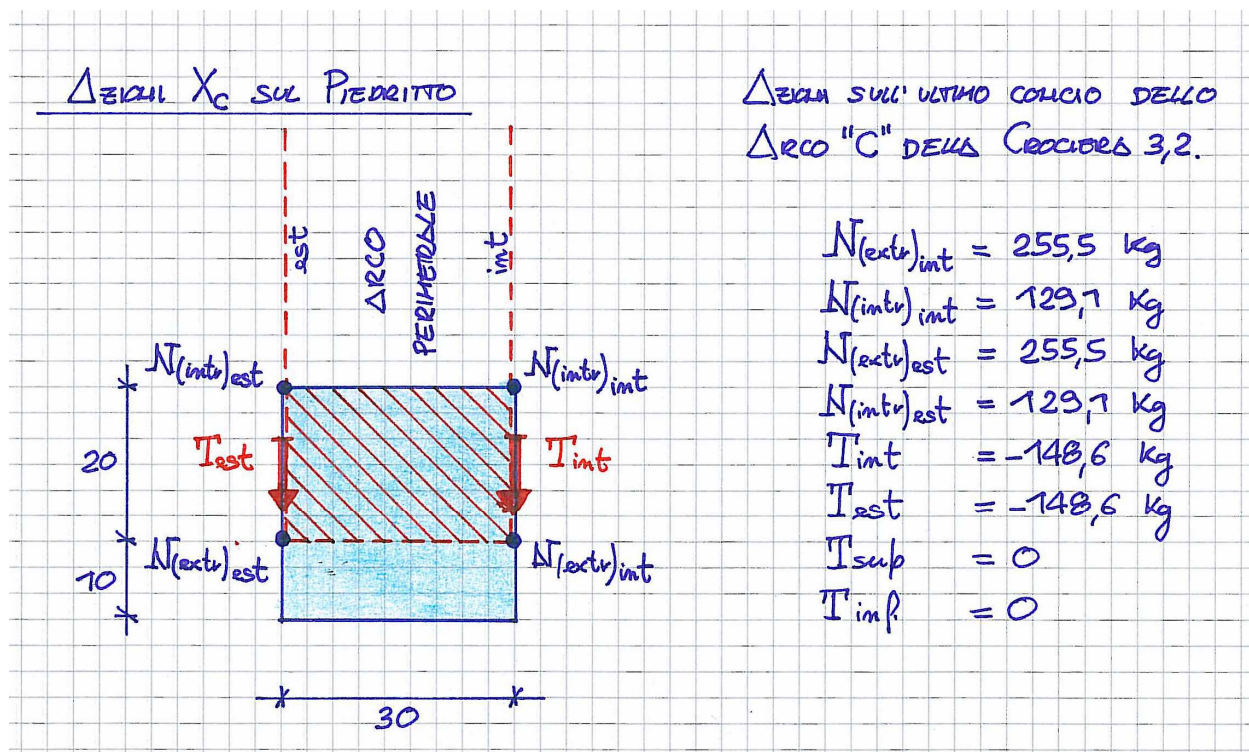
**PIEDRITTO 3: --- FORZA CONCENTRATA 11 ---**

PUNTO DI APPLICAZIONE:

30 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO  
30 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO  
195 cm DA TERRA

INTENSITA':

$F_x = 0$  Kg  
 $F_y = -148.6$  Kg  
 $F_z = -129.1$  Kg



**Fig - 24 -** Calcolo delle componenti delle azioni  $X_c$  dell'arco perimetrale che separa la crociera (3,2) dalla (4,2).

Consultando i risultati del piedritto n°3 si evince che anche il piedritto interno non è verificato né a compressione né al ribaltamento. Si noti comunque che l'eccentricità  $E_y$  è pari a zero, il che giustifica il reale comportamento di una struttura simmetrica. D'altro canto la simmetria è presente solo rispetto all'asse trasversale parallelo all'asse locale Y, ma non rispetto all'asse longitudinale parallelo all'asse locale X: infatti la crociera (3,1) e la crociera (3,2) coprono luci diverse, spingendo di conseguenza sul

piedritto in modo asimmetrico. Si tenga comunque conto che nel fabbricato sono state poste in opera tre catene trasversali, di certo necessarie per contenere la spinta degli archi e delle volte sui piedritti. Questo può essere ritenuto un valido motivo per cui la verifica non risulta soddisfatta (figg. 3-4). Lo sforzo normale risultante, nella sezione di terra del pilastro, esce fuori dalla sezione di  $34.7-15=19.7$  cm, in quanto la crociera (3,1) spinge più della crociera (3,2). Proviamo dunque a farlo rientrare simulando la presenza della catena con una forza concentrata (sforzo di trazione) posta in sommità:

**PIEDRITTO 3: --- FORZA CONCENTRATA 12 ---**

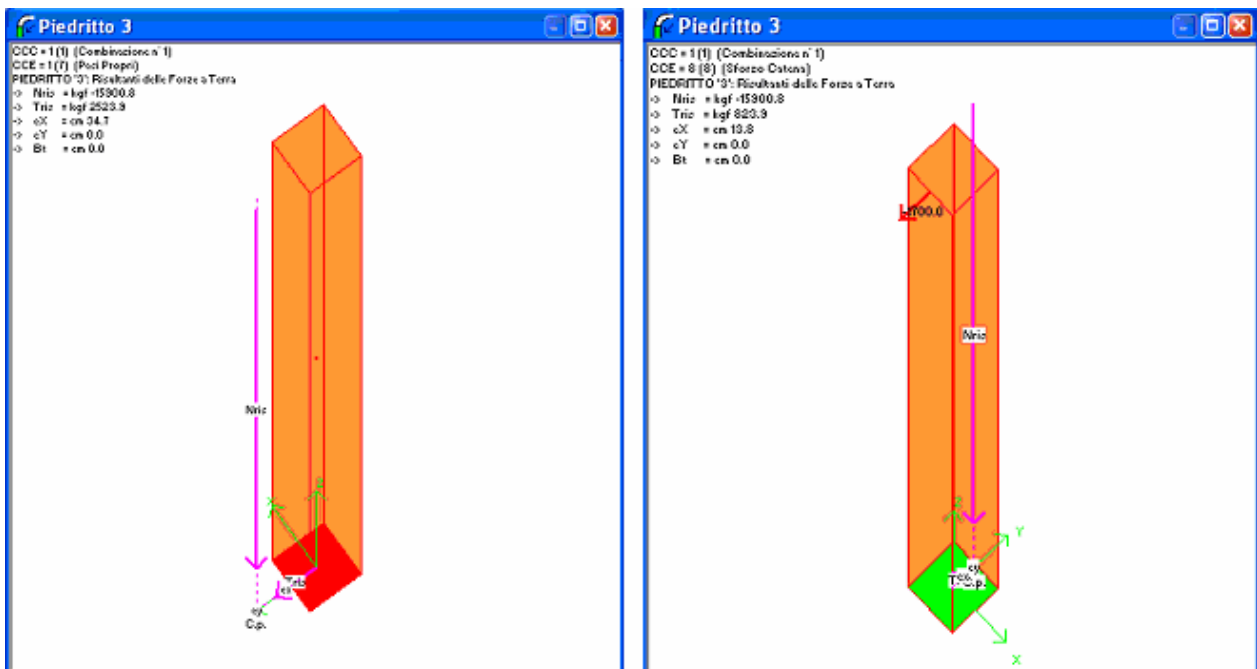
PUNTO DI APPLICAZIONE:

15 cm DAL LATO SINISTRO DEL PIEDRITTO  
0 cm DAL LATO INFERIORE DEL PIEDRITTO  
195 cm DA TERRA

INTENSITA' :

$F_x = 0$  Kg  
 $F_y = -1700$  Kg  
 $F_z = 0$  Kg

Il file 'Tranchedaia-Piedritto interno (con catena).svm' mostra che con uno sforzo di 1700 kg trasmesso dalla catena al pilastro, quest'ultimo si stabilizza, in quanto il centro di pressione si sposta verso l'interno della sezione di  $15-13.8=1.2$  cm.



Risulta adesso molto semplice il dimensionamento della catena; assunta infatti una tensione limite di riferimento di  $1400 \text{ kg/cm}^2$ , la sua sezione resistente dovrà essere almeno:

$$A = \frac{N}{\sigma} = \frac{1700}{1400} = 1.21 \text{ cm}^2$$

Assumendo infine una sezione di forma quadrata, il suo lato risulterà di circa  $1.1 \text{ cm} \rightarrow 1.2 \text{ cm}$ . L'allungamento per generare il tiro della catena può ora essere desunto dalla relazione:

$$\Delta L = \frac{NL}{EA} = \frac{1700 \times (316 + 63 + 30)}{2100000 \times 1.2} = 0.27 \text{ cm}$$