



## **Rinforzi FRCM per strutture in muratura ed in C.A.**



**Riduzione della vulnerabilità sismica di edifici  
in muratura ed in C.A. con materiali compositi**

**Prof. Ing. Angelo D'Ambrisi**

**Dipartimento di Costruzioni e Restauro  
Università di Firenze**

---

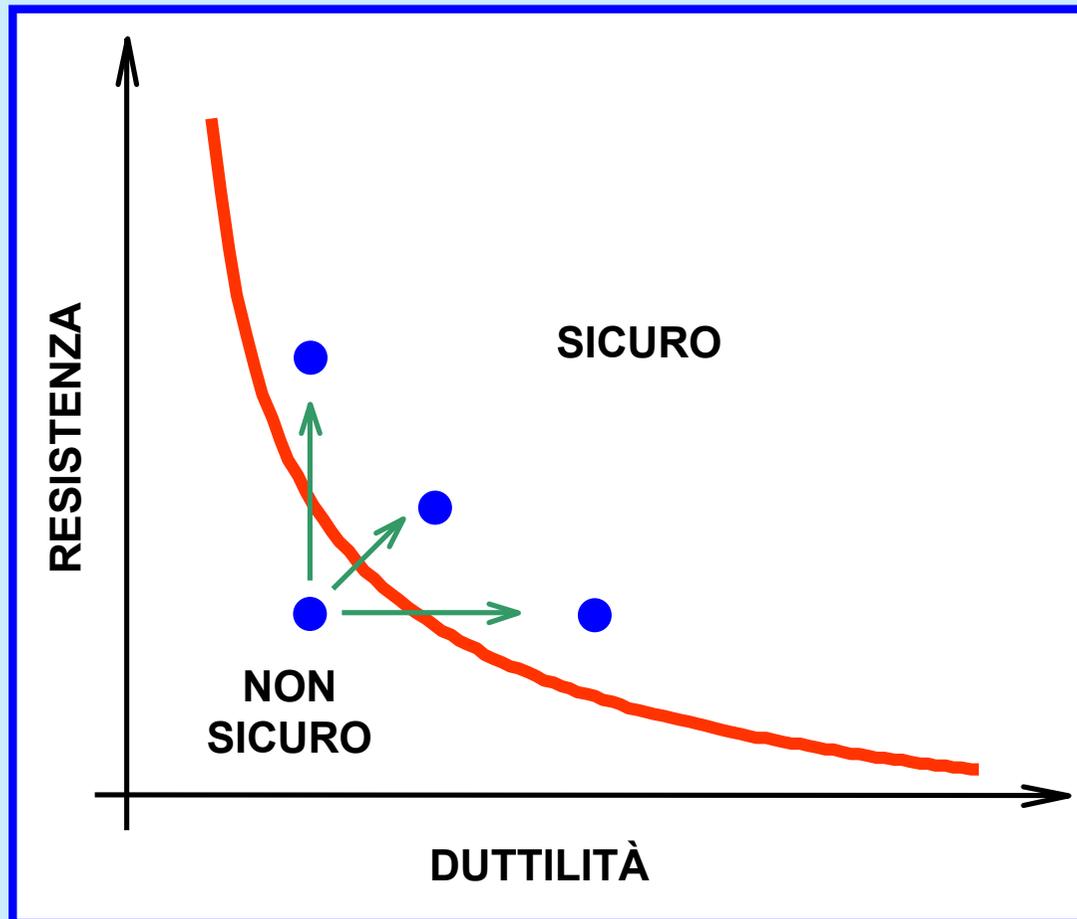
**Firenze, 10 giugno 2010**

# ***MATERIALI COMPOSITI & COSTRUZIONI ESISTENTI IN ZONA SISMICA***

- Incrementi di **Resistenza**
- Incrementi di **Duttilità**
- **Non** modificano le **masse**
- **Non** modificano le **rigidezze**
- **Non** alterano pertanto il **comportamento sismico** della struttura
- Sono **materiali** molto **versatili** da un punto di vista **progettuale**

# ***EDIFICI IN CEMENTO ARMATO***

## INTERVENTI IN ZONA SISMICA



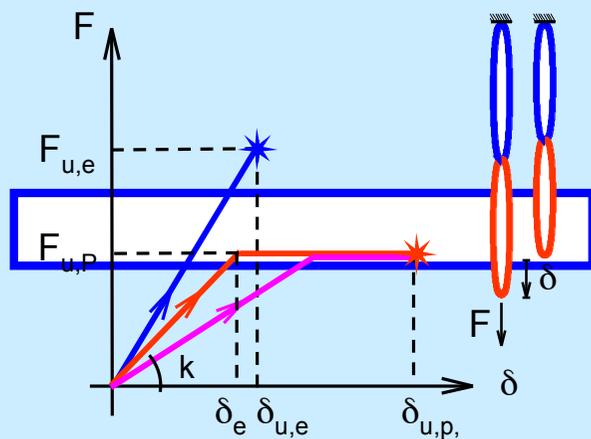
### DUTTILITÀ:

- **Evitare** meccanismi di **collasso fragile** (**Gerarchia delle Resistenze**);
- **Consentire** la formazione di molte **cerniere plastiche**
- Conferire **duttilità locale** agli elementi

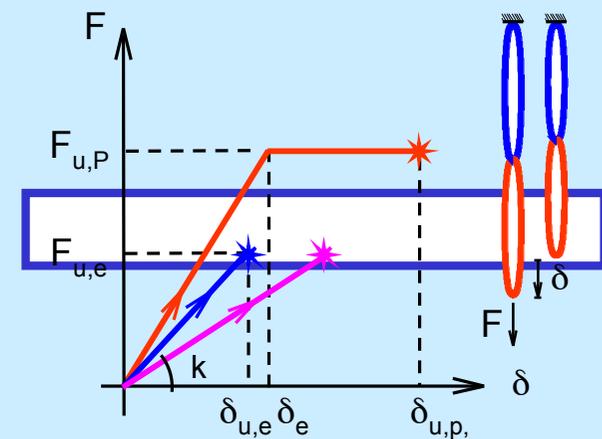
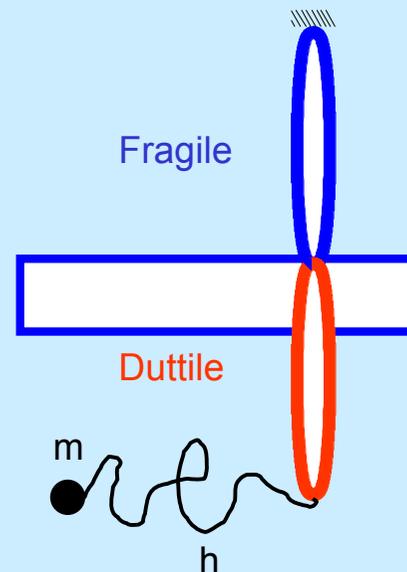
➔ Incremento della **resistenza a taglio** di travi e pilastri (GR)

La forza di **rottura** dell'anello **fragile** è **superiore** alla forza di **plasticizzazione** dell'anello **duttile**

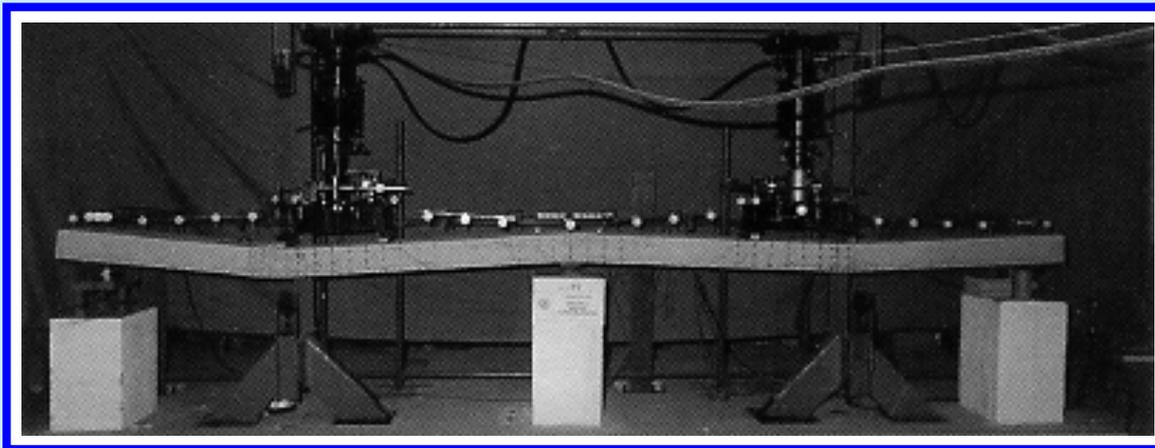
La forza di **plasticizzazione** dell'anello **duttile** è **superiore** alla forza di **rottura** dell'anello **fragile**.



L'insieme è **duttile**

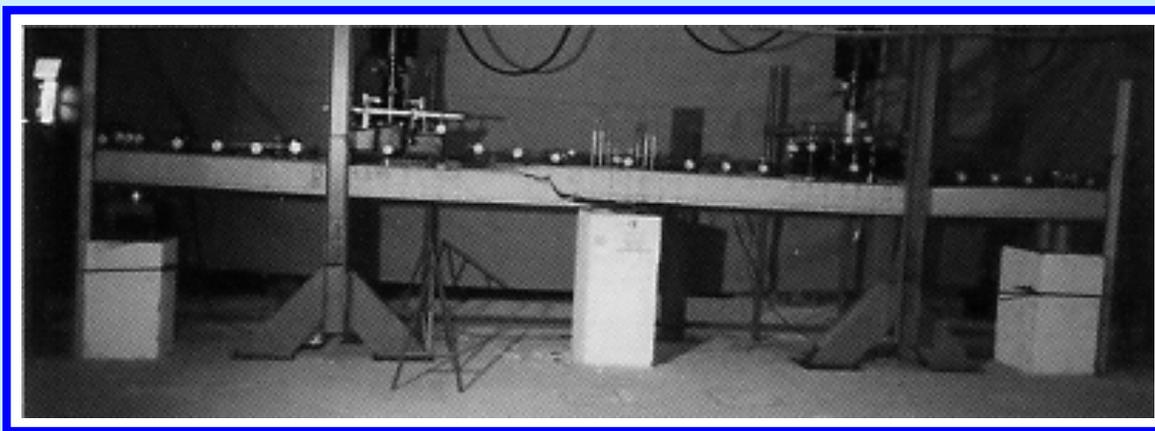


L'insieme è **fragile**



FAVOREVOLE

Rottura flessionale: duttile



SFAVOREVOLE

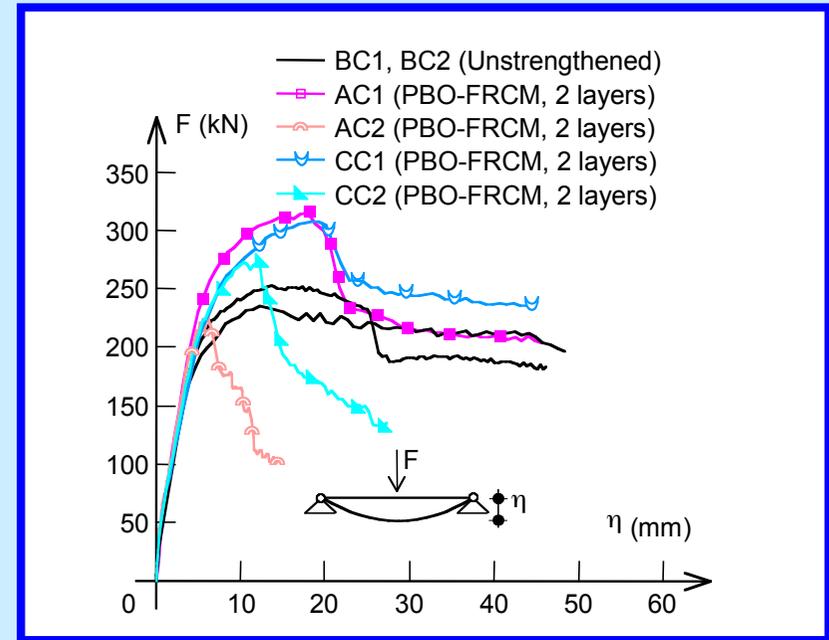
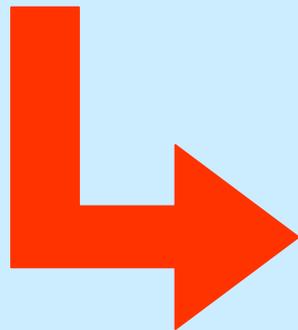
Rottura a taglio: fragile

Tratte da:  
Cosenza, E., Magliulo, G., Pecce, m., Ramasco, R.: Progetto antisismico di edifici in Cemento Armato

# MODIFICA DEL TIPO DI ROTTURA CON FRCM



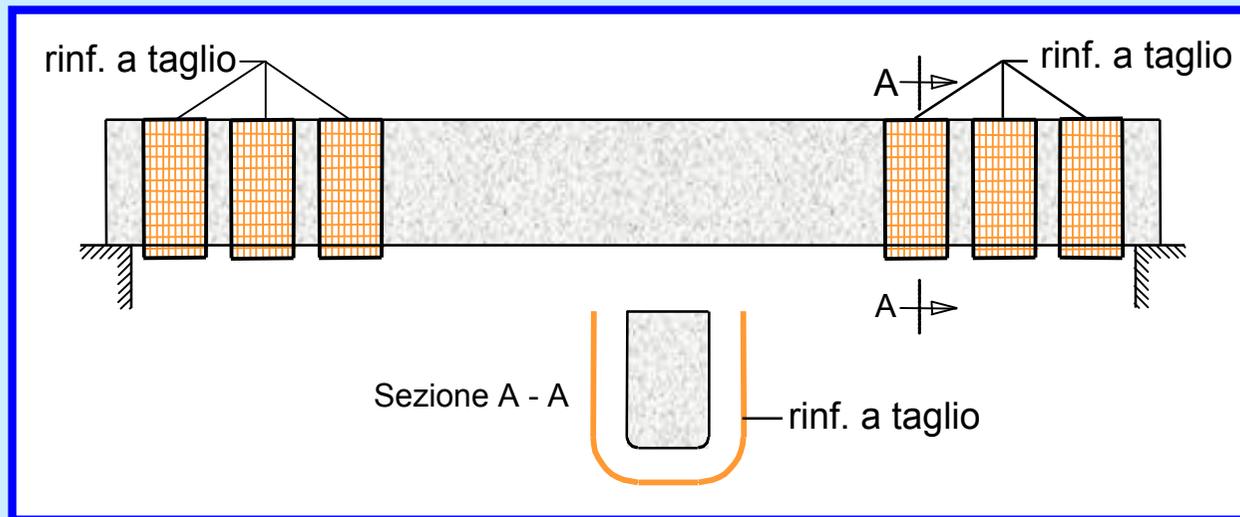
ROTTURA A TAGLIO



ROTTURA FLESSIONALE

## ➔ Rinforzo a taglio con FRCM

### CONFIGURAZIONE TIPICA

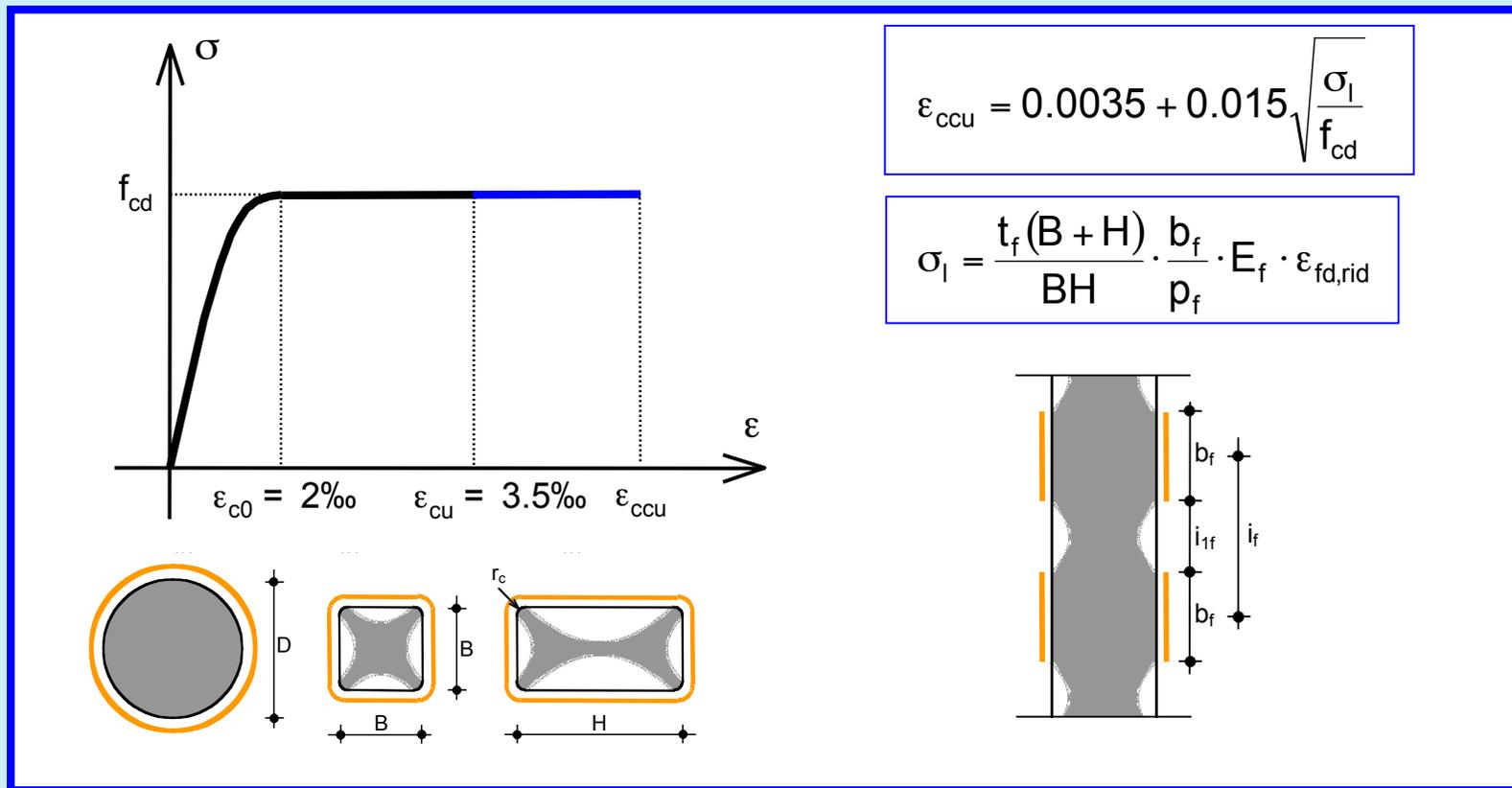


# RINFORZO A COMPRESIONE (CONFINAMENTO)

- INCREMENTO DI DUTTILITÀ

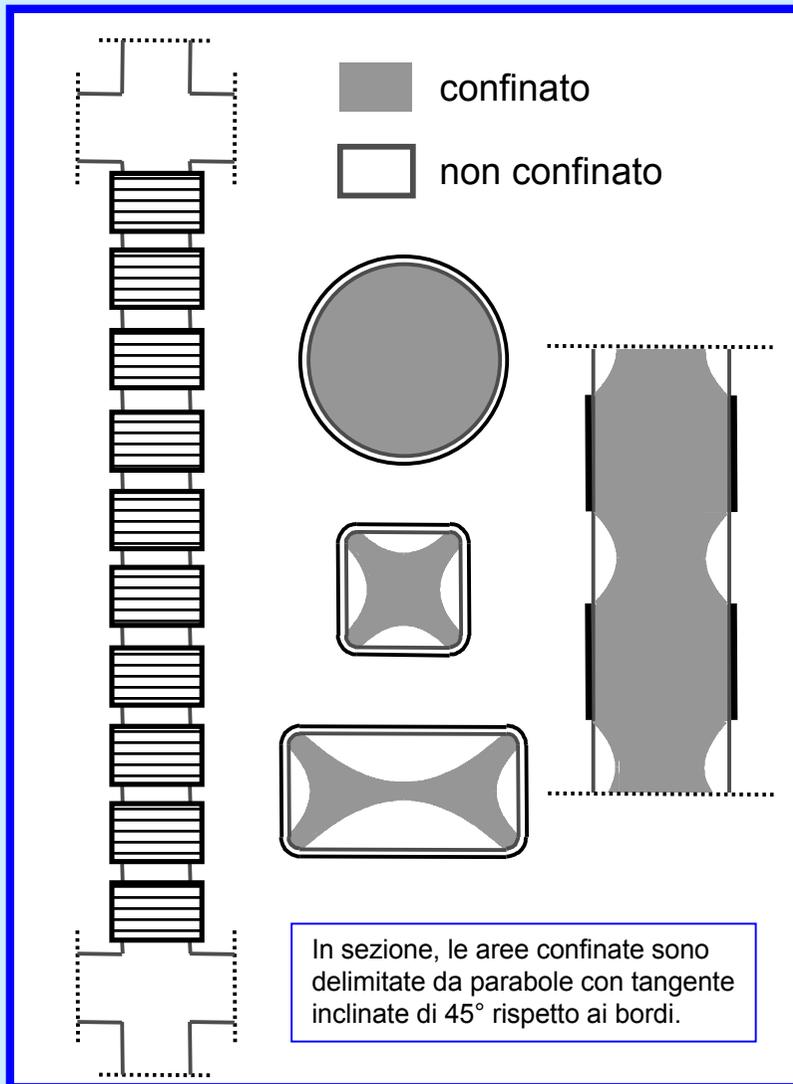
➔ La fasciatura con compositi **aumenta** anche la **duttilità** di elementi pressoinflessi.

➔ CNR DT200: **incremento di deformazione ultima del calcestruzzo**



## RINFORZO A COMPRESSIONE (CONFINAMENTO)

- CASO GENERALE (sezione rettangolare con fasciatura non uniforme)



→ “pressione efficace di confinamento”, definita da:

$$\sigma_1' = k_{\text{eff}} \cdot \sigma_1$$

→  $k_{\text{eff}}$  (coefficiente di efficienza) si valuta come il rapporto tra il volume efficacemente confinato ed il volume totale:

$$k_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{conf}}}{V_{\text{tot}}}$$

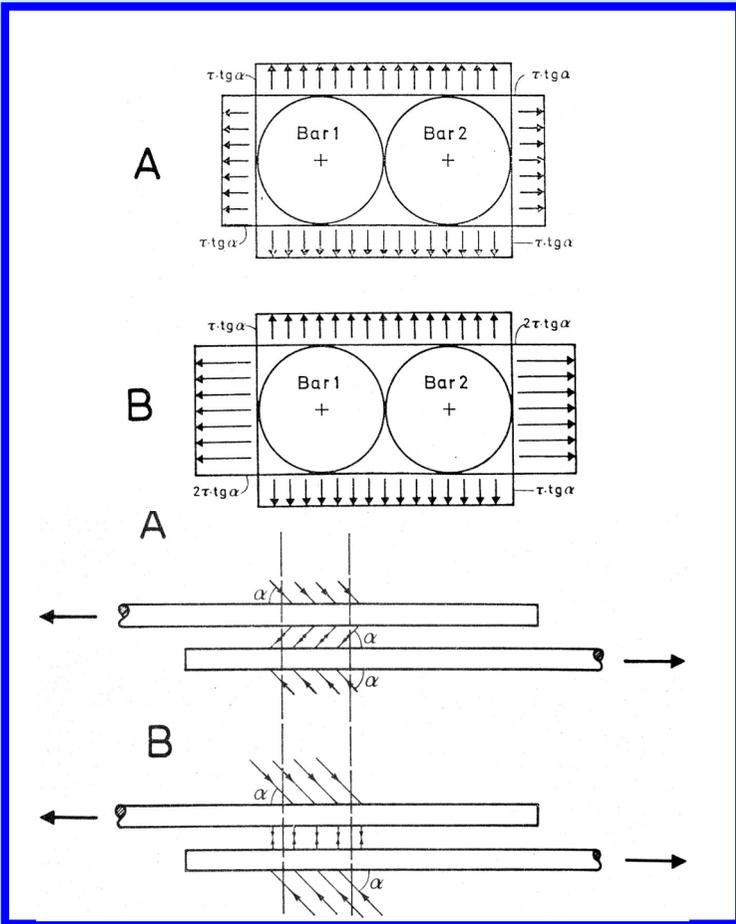
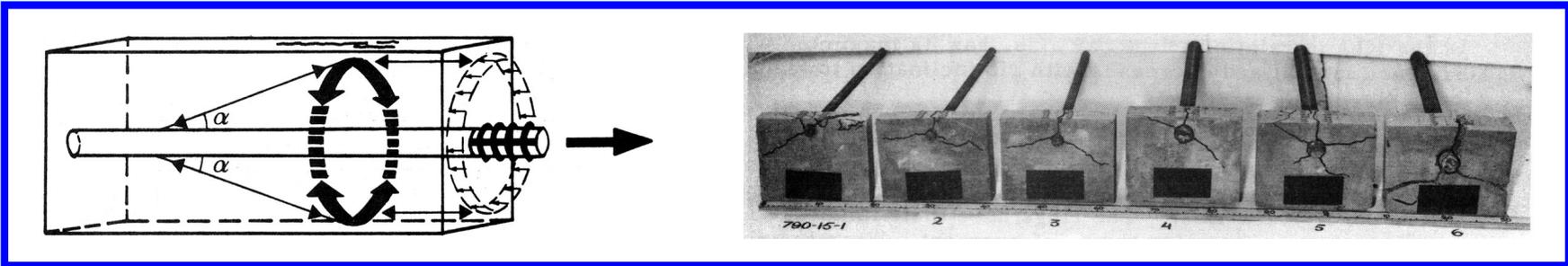
→ in via semplificata:

$$k_{\text{eff}} = k_v k_h$$

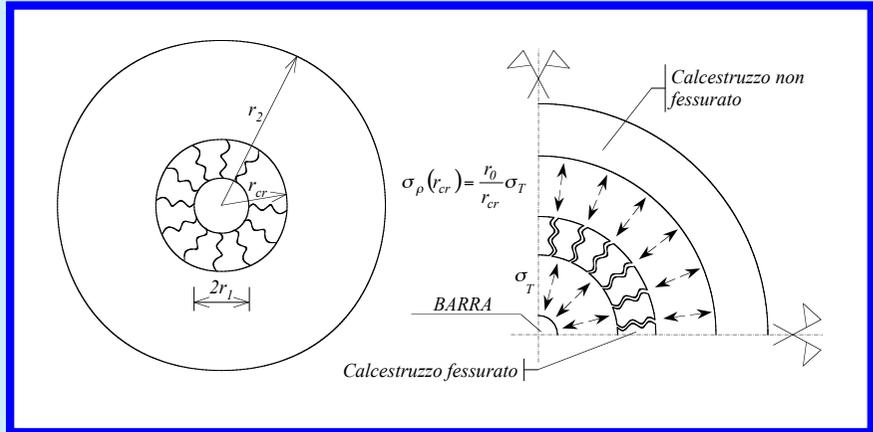
$k_v$ : coeff. di efficienza verticale

$k_h$ : coeff. di efficienza orizzontale

➔ **Miglioramento dell'efficienza delle giunzioni nei pilastri mediante fasciatura**



↑  
 Tepfers, R. A Theory of bond applied to overlapped tensile reinforcement splices for deformed bars. Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden.  
 Publication 73:2, 1973  
 ←



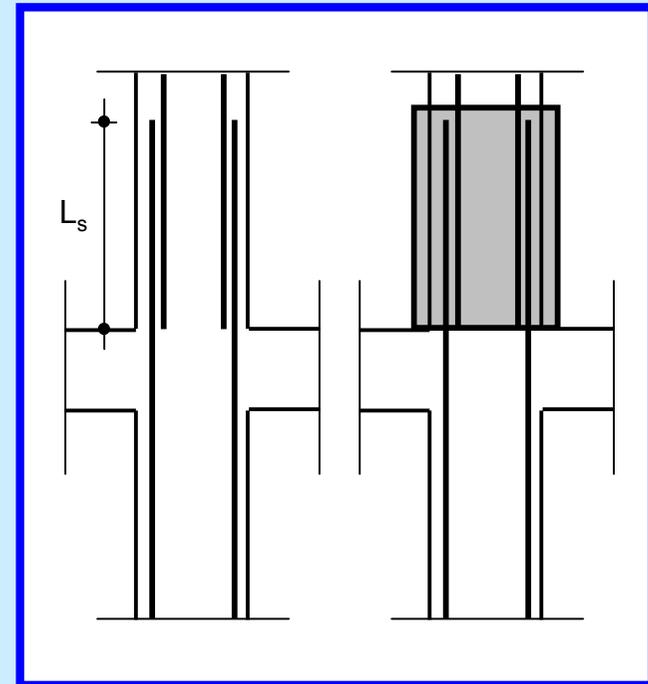
➔ **Miglioramento dell'efficienza delle giunzioni nei pilastri mediante fasciatura.**

$$\sigma_1 = \frac{A_s \cdot f_y}{\left[ \frac{u_e}{2n} + 2 \cdot (d_b + c) \right] \cdot L_s}$$



PRESSIONE DI CONFINAMENTO  
NECESSARIA (DOMANDA)

$A_s$ : sezione delle barre longitudinali  
 $f_y$ : tensione di snervamento  
 $u_e$ : perimetro della sezione all'interno del poligono  
che circonda le barre longitudinali  
 $d_b$ : diametro medio delle barre longitudinali  
 $c$ : copriferro  
 $n$ : numero di barre longitudinali  
 $L_s$ : lunghezza di sovrapposizione



➔ **Miglioramento dell'efficienza delle giunzioni nei pilastri mediante fasciatura.**

$$t_f = \frac{\sigma_l \cdot D - a_{sw} \cdot \sigma_{sw}}{2 \cdot E_f \cdot \varepsilon_{f,sov}}$$



**SPESSORE NECESSARIO**

$$a_{sw} = n_b \cdot \frac{A_{sw}}{p_s}$$

D: diametro, oppure massimo lato

$n_b$ : numero di braccia delle staffe

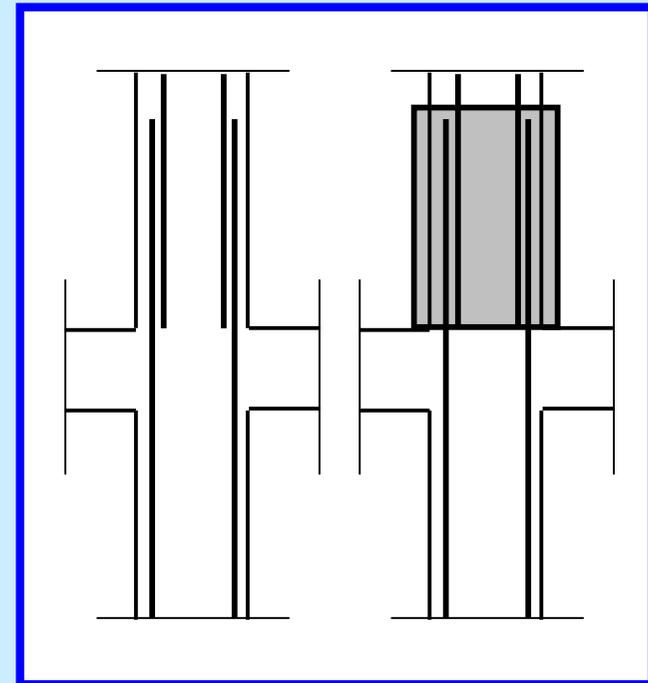
$A_{sw}$ : sezione delle staffe

$\sigma_{sw}$ : tensione nelle staffe alla dilatazione dello 0.1%

$E_f$ : modulo elastico del rinforzo

$\varepsilon_{f,sov} = 0.1\%$  dilatazione limite del rinforzo

$p_s$ : passo delle staffe



PER SEZIONI RETTANGOLARI SI USA IL COEFFICIENTE  $k_h$

- ➔ Realizzazione di un **impedimento allo svergolamento** delle barre di armatura nei pilastri poco staffati mediante fasciatura.



Tratte da: Monti, G., Capitolo 5 Ordinanza 3274 - Edifici con struttura in c.a..

$$t_f = \frac{10 \cdot n \cdot d}{E_f}$$

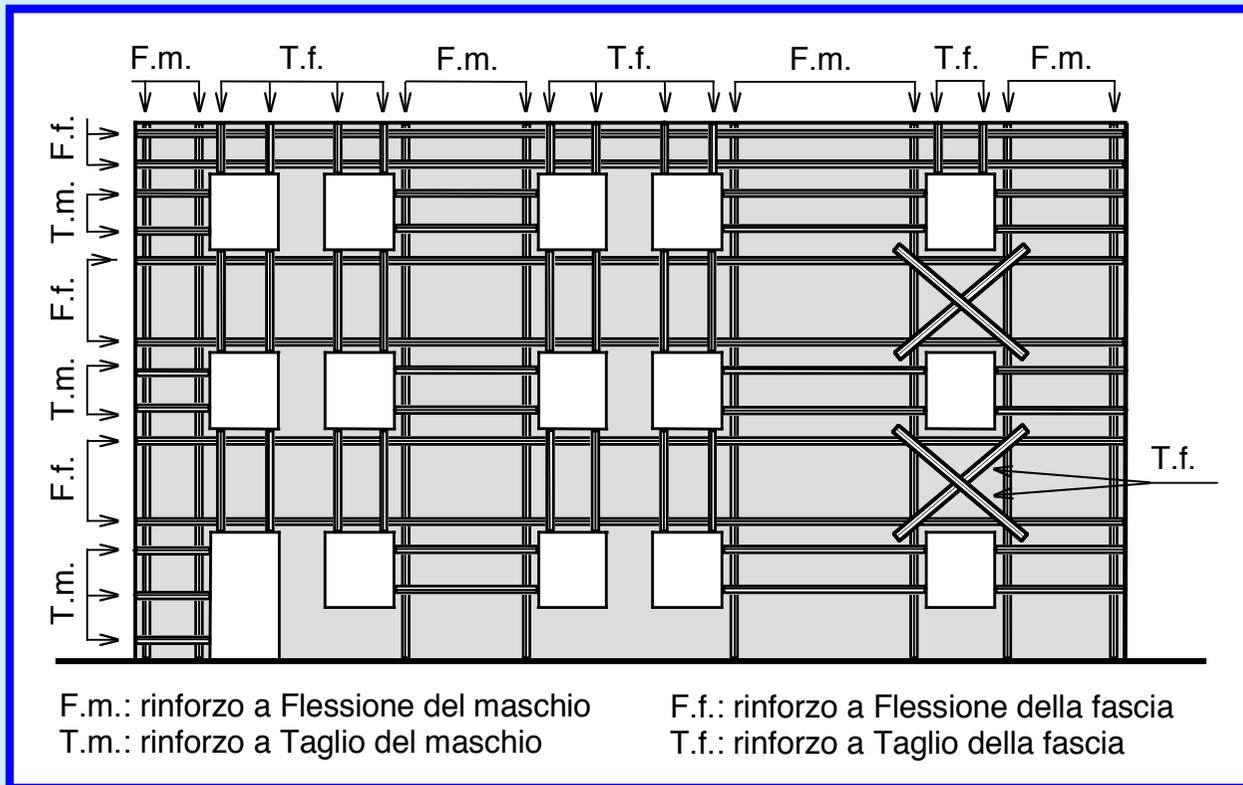
n: numero di barre in condizione di potenziale svergolamento  
d: dimensione della sezione parallelamente al piano di flessione  
E<sub>f</sub>: modulo elastico del rinforzo

In **zona sismica** il rinforzo con compositi di **elementi di c.a.** è finalizzato principalmente al conseguimento degli **obiettivi** di seguito elencati:

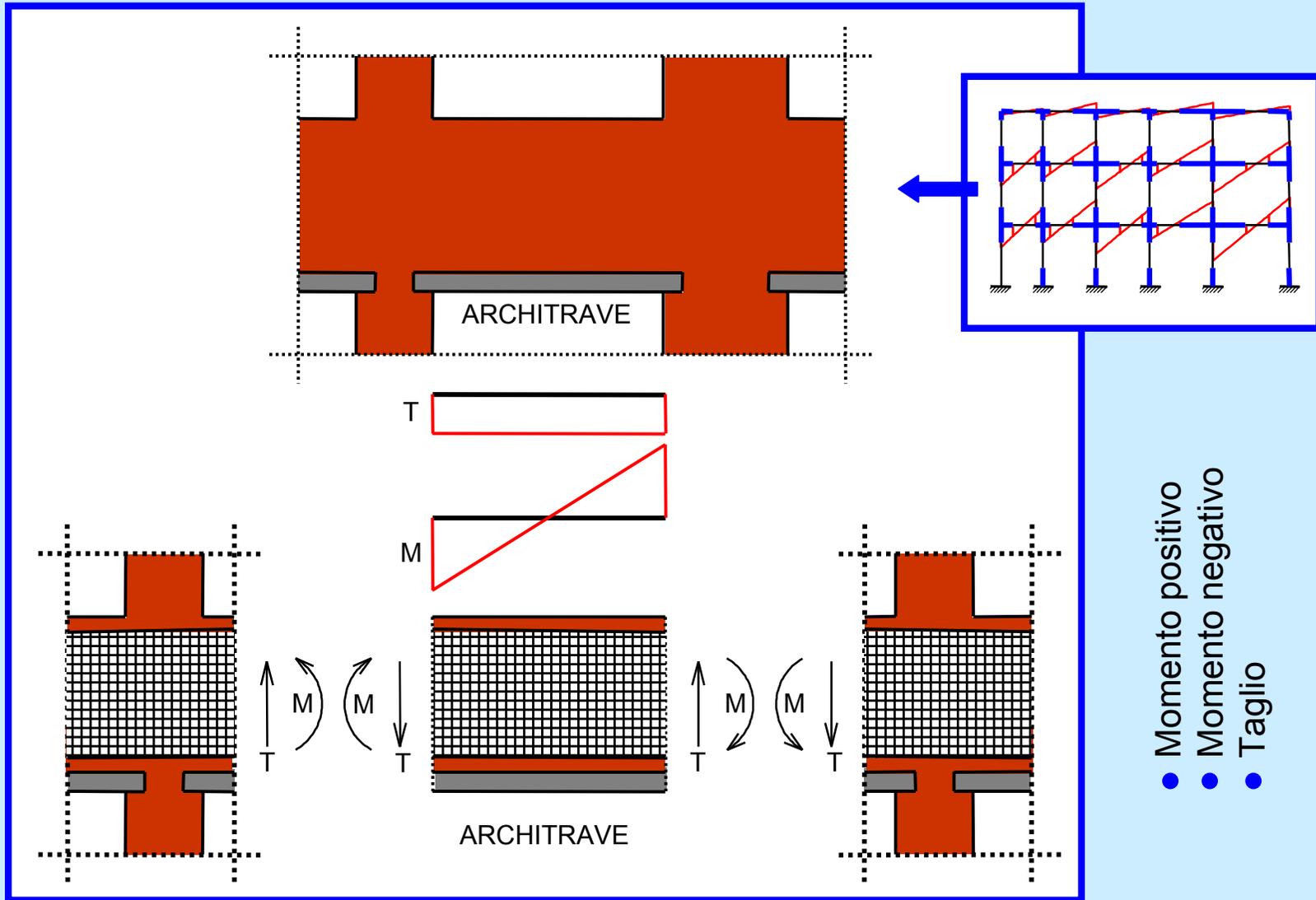
- ➔ Incremento della **resistenza a taglio** di travi e pilastri (**GR**)
- ➔ Incremento della **duttilità** delle **zone terminali** di travi o pilastri mediante fasciatura
- ➔ **Miglioramento** dell'efficienza delle **giunzioni** nei **pilastri** mediante fasciatura
- ➔ Realizzazione di un **impedimento** allo **svergolamento** delle barre di **armatura** nei pilastri poco staffati mediante fasciatura
- ➔ Incremento della resistenza **dei pannelli di nodo** (trave-pilastro) mediante incollaggio di materiali compositi nelle direzioni delle isostatiche di trazione
- ➔ Incremento della **resistenza a pressoflessione** dei pilastri (abbastanza complesso tecnologicamente) mediante placcaggio

# ***EDIFICI IN MURATURA***

➔ Incremento **resistenza a flessione e taglio** dei pannelli murari

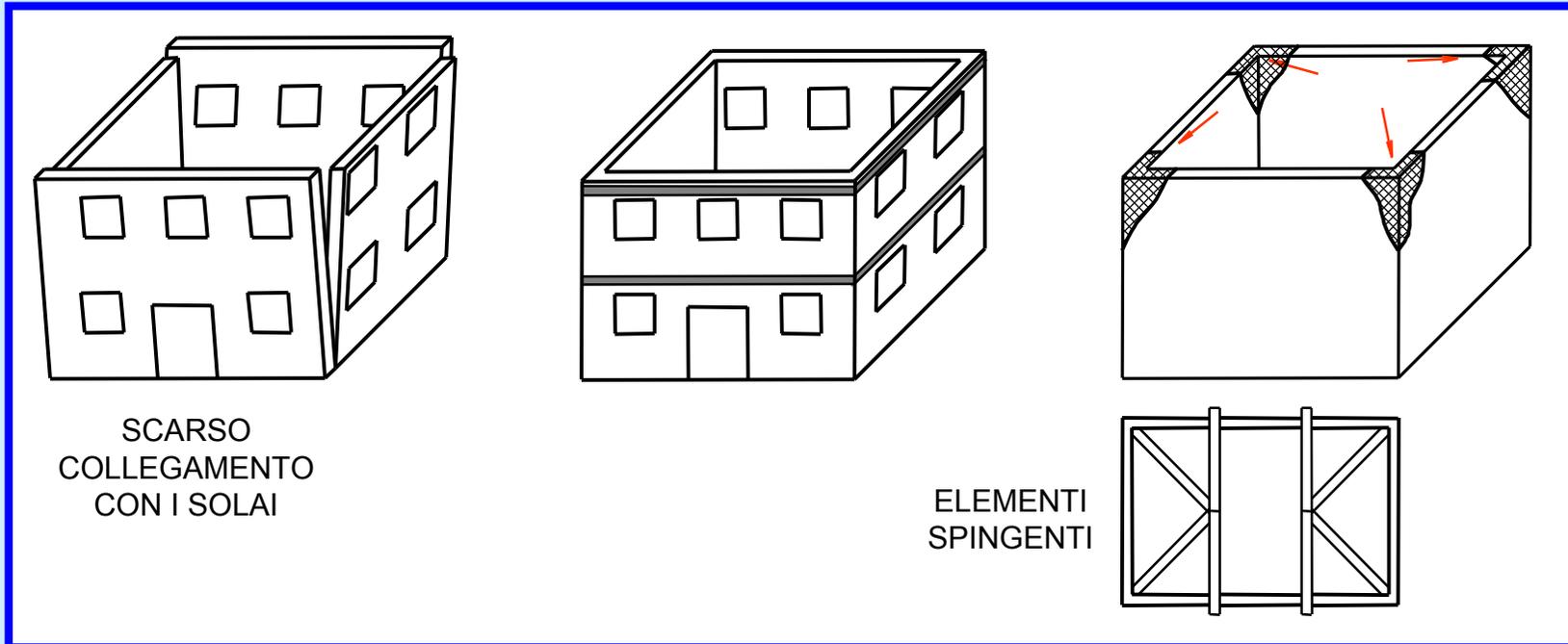
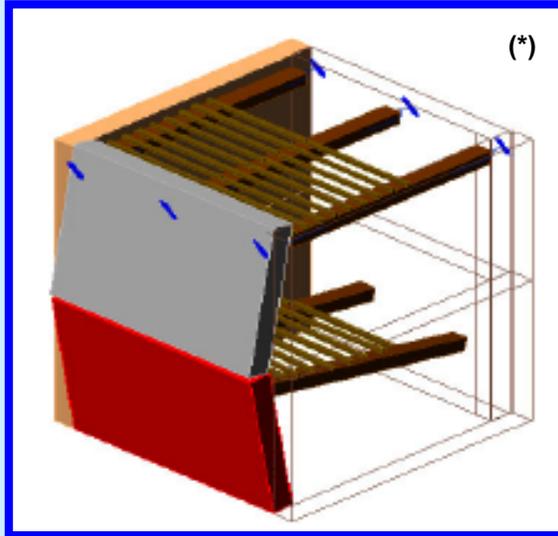


➔ Incremento resistenza a flessione e taglio dei pannelli murari



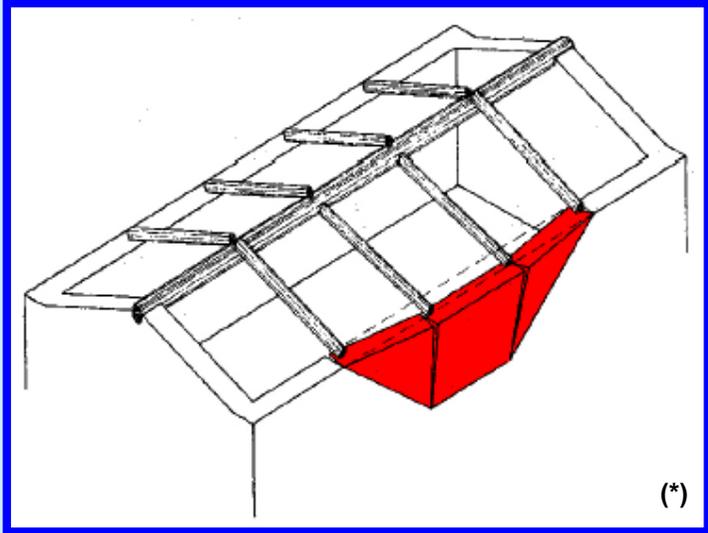
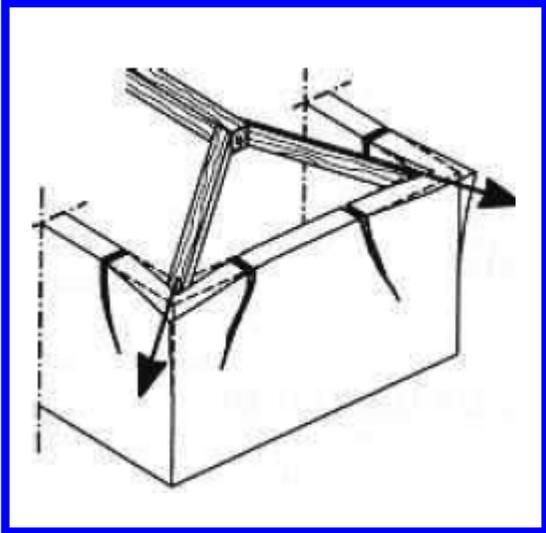
➔ **Eliminazione di spinte e forze applicate ortogonalmente ai paramenti murari**

Forze orizzontali  
trasmesse dai solai



(\*) tratta da:  
Borri, A., Grazini, A.: Criteri e metodologie per il dimensionamento degli interventi con FRP nel miglioramento sismico degli edifici in muratura. XI Convegno Anidris, 2004.

# DANNI PROVOCATI DA COPERTURE SPINGENTI

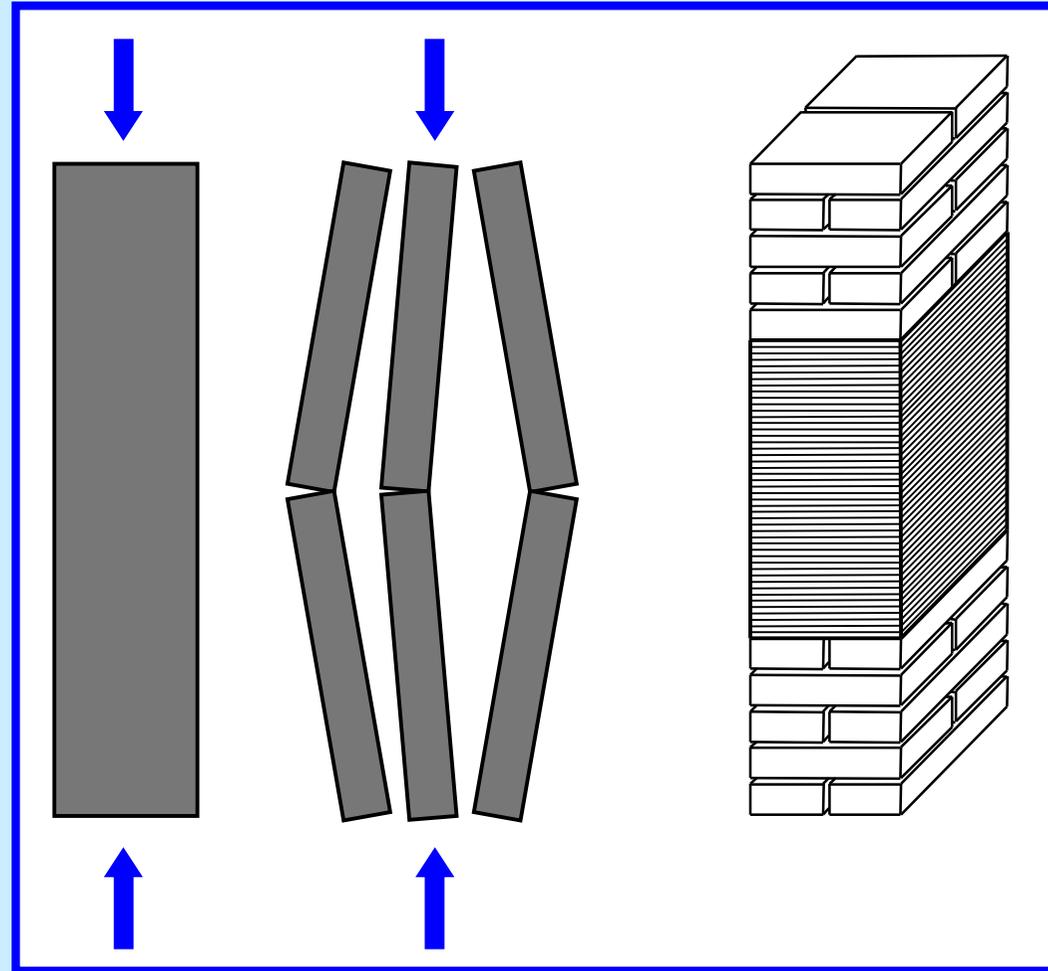


Immagini tratte da: Regione Toscana, Direzione generale delle politiche territoriali e ambientali  
Servizio sismico regionale, "Rilevamento della vulnerabilità sismica di edifici in muratura"

(\*) tratta da:  
Liberatore, D, Valutazione dello stato di fatto delle strutture in muratura

➔ **Confinamento** di colonne per incrementare la resistenza e la duttilità del materiale.

## CONFINAMENTO



In **zona sismica**, l'applicazione dei **rinforzi** su **strutture murarie** è principalmente finalizzato al conseguimento dei seguenti **obiettivi**:

- ➔ Incremento **resistenza a flessione e taglio** dei pannelli murari
- ➔ **Eliminazione di spinte** e forze applicate **ortogonalmente** ai paramenti murari
- ➔ **Collegamento** tra elementi che collaborano a resistere alle azioni orizzontali
- ➔ **Irrigidimento** dei **solai** nel piano.
- ➔ **Limitazione** dell'apertura di **fessure**
- ➔ **Confinamento** di colonne per incrementare la **resistenza** e la **duttilità** del materiale

# ***MATERIALI COMPOSITI & NORMATIVA SISMICA***

- **NTC 2008**
- **Circolare n° 617** del 02/02/2009 C.S. LL.PP.  
Istruzioni per l'applicazione delle NTC 2008
- **CNR DT200 – 2004** Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di **Interventi di Consolidamento Statico** mediante l'utilizzo di **Compositi Fibrorinforzati**
- **Direttiva** del **Presidente del Consiglio dei Ministri** per la valutazione e la riduzione del **rischio sismico** del **patrimonio culturale** con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni, **12 ottobre 2007**
- **Ministero per i beni e le attività culturali: Linee Guida** per la valutazione e riduzione del **rischio sismico** del **patrimonio culturale**, **2006**

- **NTC 2008**

## 8. COSTRUZIONI ESISTENTI

### 8.4 Classificazione degli interventi

Interventi **di adeguamento** atti a conseguire i livelli di sicurezza delle presenti norme

Interventi **di miglioramento** atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, **pur senza necessariamente** raggiungere i livelli richiesti dalle presenti norme

Riparazioni o interventi **locali** che interessano **elementi isolati**, e che comunque comportano un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti

- **NTC 2008**

## 8. COSTRUZIONI ESISTENTI

### 8.6 Materiali

Gli interventi sulle strutture esistenti devono essere effettuati con i materiali previsti dalle presenti norme; possono altresì essere utilizzati **materiali non tradizionali**, purché nel rispetto di **normative e documenti di comprovata validità**, ovvero quelli elencati al **cap. 12**.

## 12. RIFERIMENTI TECNICI

“...in mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono **referimenti di comprovata validità**:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Sup. dei LL. PP. ;
- **Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale**
- **Istruzioni e documenti tecnici del C.N.R.”.**

- **NTC 2008**

## 12. RIFERIMENTI TECNICI

- **Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale**
  - **Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni, 12 ottobre 2007**
  - **Ministero per i beni e le attività culturali: Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, 2006**
- **Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.)**
  - **CNR DT200 – 2004 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati**

Sono  
considerati  
i compositi

Specifico sui  
compositi

- **NTC 2008**

Molto spesso realizzabile con FRCM

Talvolta realizzabile con FRCM

## 8. COSTRUZIONI ESISTENTI

### 8.7 Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche

#### 8.7.4 Criteri e tipi d'intervento

- **riparazione di eventuali danni presenti**
- **riduzione delle carenze dovute ad errori grossolani**
- **miglioramento della capacità deformativa ("duttilità") di singoli elementi**
- **riduzione delle condizioni che determinano situazioni di forte irregolarità degli edifici, in termini di massa, resistenza e/o rigidità, anche legate alla presenza di elementi non strutturali**
- **riduzione delle masse, anche mediante demolizione parziale o variazione di destinazione d'uso**

- riduzione dell'impegno degli elementi strutturali originari mediante l'introduzione di sistemi d'isolamento o di dissipazione di energia
- riduzione dell'eccessiva deformabilità degli orizzontamenti
- **miglioramento dei collegamenti degli elementi non strutturali**
- **incremento della resistenza degli elementi verticali resistenti**, tenendo eventualmente conto di una possibile riduzione della duttilità globale per effetto di rinforzi locali
- realizzazione, ampliamento, eliminazione di giunti sismici o interposizione di materiali atti ad attenuare gli urti.
- miglioramento del sistema di fondazione, ove necessario.

**Molto spesso realizzabile con FRCCM**

**Talvolta realizzabile con FRCCM**

- **Circolare n° 617 del 02/02/2009 C.S. LL.PP.**  
**Istruzioni per l'applicazione delle NTC 2008**

Molto spesso realizzabile con FRCCM

Talvolta realizzabile con FRCCM

## **C8.A APPENDICE AL CAP. 8 (COSTRUZIONI ESISTENTI)**

### **C8A.5 Criteri per gli interventi di consolidamento di edifici in muratura**

#### **C8A.5.1 INTERVENTI VOLTI A RIDURRE LE CARENZE DEI COLLEGAMENTI**

#### **C8A.5.2 INTERVENTI SUGLI ARCHI E SULLE VOLTE**

#### **C8A.5.3 INTERVENTI VOLTI A RIDURRE L'ECESSIVA DEFORMABILITÀ DEI SOLAI**

#### **C8A.5.4 INTERVENTI IN COPERTURA**

#### **C8A.5.5 INTERVENTI CHE MODIFICANO LA DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI VERTICALI RESISTENTI**

#### **C8A.5.6 INTERVENTI VOLTI AD INCREMENTARE LA RESISTENZA NEI MASCHI MURARI**

#### **C8A.5.7 INTERVENTI SU PILASTRI E COLONNE**

**C8A.5.8 INTERVENTI VOLTI A RINFORZARE LE PARETI INTORNO ALLE APERTURE**

**C8A.5.9 INTERVENTI ALLE SCALE**

**C8A.5.10 INTERVENTI VOLTI AD ASSICURARE I COLLEGAMENTI DEGLI ELEMENTI  
NON STRUTTURALI**

**C8A.5.11 INTERVENTI IN FONDAZIONE**

**C8A.5.12 REALIZZAZIONE DI GIUNTI SISMICI**

**C8A.7 Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in calcestruzzo armato**

**C8A.7.1 INCAMICIATURA IN C.A.**

**C8A.7.2 INCAMICIATURA IN ACCIAIO**

**C8A.7.3 PLACCATURA E FASCIATURA IN MATERIALI COMPOSITI**

**Molto spesso realizzabile con FRCM**

**Talvolta realizzabile con FRCM**

**Sono citati espressamente i compositi**

- **CNR DT200 - 2004**

## 2. MATERIALI

### 2.1 INTRODUZIONE

### 2.2 LE CARATTERISTICHE DEI COMPOSITI E DEI LORO COMPONENTI

#### 2.2.3 Matrici

##### 2.2.3.1 Resine epossidiche

##### 2.2.3.2 Resine poliestere

##### 2.2.3.3 Altri tipi di resine

Vanno infine ricordate le **matrici di natura inorganica** (**cementizie**, metalliche, ceramiche, ecc.), il cui utilizzo per la realizzazione di compositi fibrorinforzati in campo civile - **soprattutto quelle cementizie** - sta progressivamente diffondendosi. Pur non essendo esaminate nel presente documento, **il loro impiego è tuttavia ritenuto possibile** a condizione che risulti suffragato da una **documentazione tecnica** e da una **campagna sperimentale** adeguate, comprovanti un'efficacia almeno pari a quella delle matrici organiche qui trattate".

- **CNR DT200 - 2004**

#### 4. RINFORZO DI STRUTTURE IN C.A. E C.A.P.

##### 4.7 INTERVENTI IN ZONA SISMICA

###### 4.7.1 Principi generali di intervento

###### 4.7.1.1 Obiettivi della progettazione

In **zona sismica** è possibile **rinforzare** con FRP strutture di conglomerato cementizio armato che **non soddisfino** i requisiti di **sicurezza** nei confronti dell'**azione sismica** di progetto relativamente ad uno o più stati limite.

###### 4.7.1.2 Criteri per la scelta dell'intervento con FRP

L'intervento con FRP è classificabile come **rinforzo** o **ricostruzione totale o parziale degli elementi**.

- **CNR DT200 - 2004**

## **5. RINFORZO DI STRUTTURE MURARIE**

### **5.7 PRINCIPI GENERALI DI INTERVENTO PER COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA**

#### **5.7.1 Obiettivi della progettazione**

Gli interventi di **rinforzo** con FRP possono essere effettuati su **strutture murarie** in **zona sismica** che **non soddisfino** i requisiti di **sicurezza** previsti dalla Normativa vigente nei confronti di uno o più stati limite.

# TONNARA DI FAVIGNANA

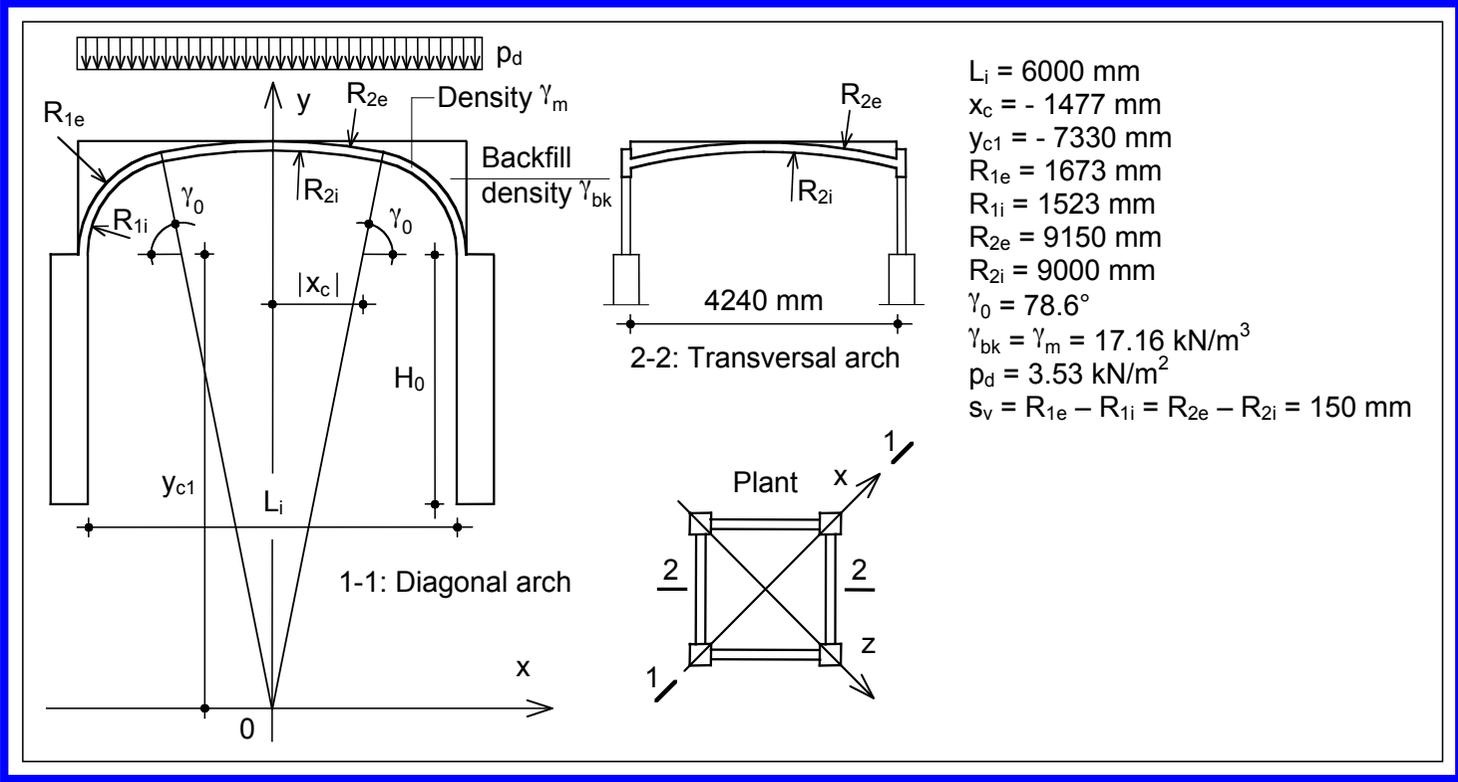


Tonnara "Florio" a Favignana



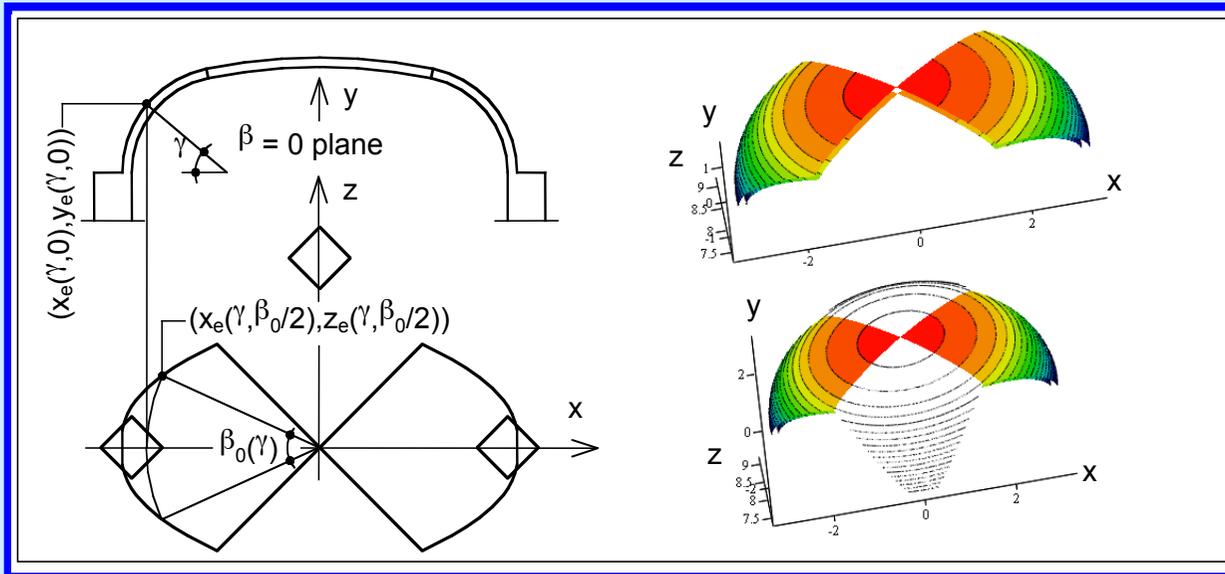
Volte nei "magazzini generali"

# LE VOLTE DELLA TONNARA



# SCHEMATIZZAZIONE

- Parametrizzazione del volume degli "archi"



$$\beta_{ini} = 10^\circ$$

$$\beta_{max} = \frac{\pi}{2}$$

$$\gamma_{bmax} = \frac{\pi}{3}$$

→ Intradosso ed estradosso

$$x_i(\gamma, \beta) = \begin{cases} x_c - R_{1i} \cos \gamma \cdot \cos \beta \\ -R_{2i} \cos \gamma \cdot \cos \beta \\ -x_c - R_{1i} \cos \gamma \cdot \cos \beta \end{cases} \quad y_i(\gamma, \beta) = \begin{cases} R_{1i} \sin \gamma + y_{c1} \\ R_{2i} \sin \gamma \cdot \cos \beta \\ R_{1i} \sin \gamma \end{cases} \quad z_i(\gamma, \beta) = \begin{cases} x_c - R_{1i} \cos \gamma \cdot \sin \beta & \text{if } 0 \leq \gamma \leq \gamma_0 \\ -R_{2i} \cos \gamma \cdot \sin \beta & \text{if } \gamma_0 < \gamma \leq \pi - \gamma_0 \\ -x_c - R_{1i} \cos \gamma \cdot \sin \beta & \text{if } \pi - \gamma_0 < \gamma \leq \pi \end{cases}$$

$$x_e(\gamma, \beta) = \begin{cases} x_c - R_{1e} \cos \gamma \cdot \cos \beta \\ -R_{2e} \cos \gamma \cdot \cos \beta \\ -x_c - R_{1e} \cos \gamma \cdot \cos \beta \end{cases} \quad y_e(\gamma, \beta) = \begin{cases} R_{1e} \sin \gamma + y_{c1} \\ R_{2e} \sin \gamma \cdot \cos \beta \\ R_{1e} \sin \gamma \end{cases} \quad z_e(\gamma, \beta) = \begin{cases} x_c - R_{1e} \cos \gamma \cdot \sin \beta & \text{if } 0 \leq \gamma \leq \gamma_0 \\ -R_{2e} \cos \gamma \cdot \sin \beta & \text{if } \gamma_0 < \gamma \leq \pi - \gamma_0 \\ -x_c - R_{1e} \cos \gamma \cdot \sin \beta & \text{if } \pi - \gamma_0 < \gamma \leq \pi \end{cases}$$

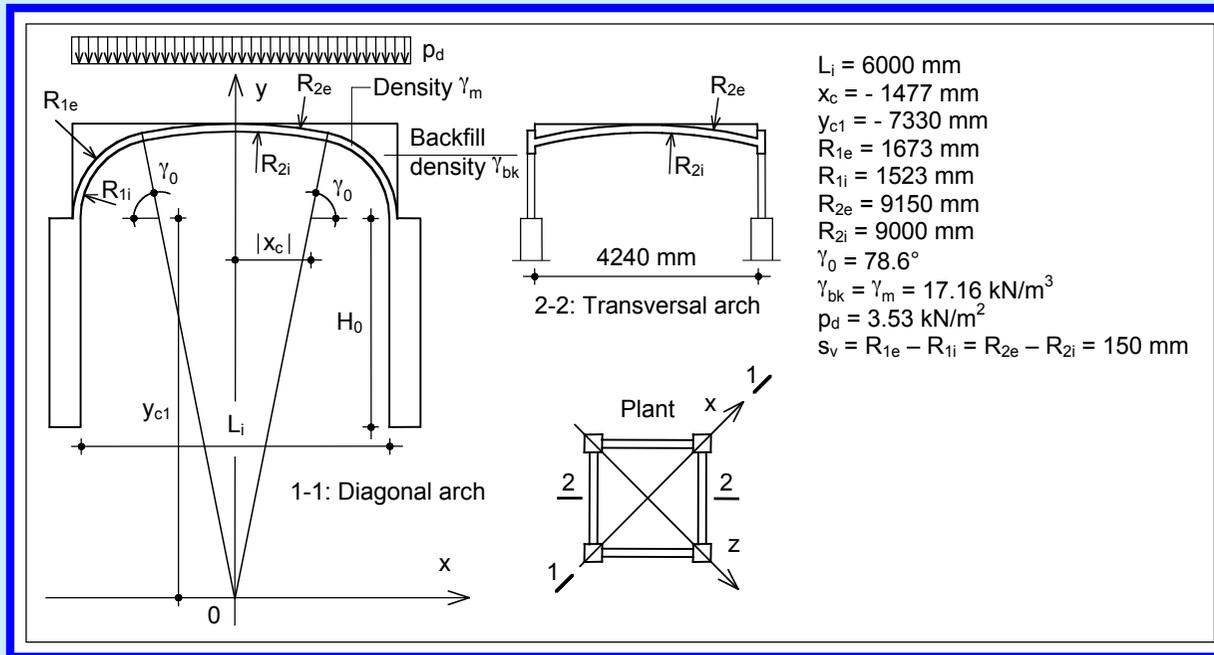
→ Volume

$$\begin{cases} x(\gamma, \beta, t) = x_i(\gamma, \beta) + t[x_e(\gamma, \beta) - x_i(\gamma, \beta)] \\ y(\gamma, \beta, t) = y_i(\gamma, \beta) + t[y_e(\gamma, \beta) - y_i(\gamma, \beta)] \\ z(\gamma, \beta, t) = z_i(\gamma, \beta) + t[z_e(\gamma, \beta) - z_i(\gamma, \beta)] \end{cases} \quad \begin{cases} \gamma \in [0; \pi] \\ \beta \in \left[-\frac{\beta_0(\gamma)}{2}; \frac{\beta_0(\gamma)}{2}\right] \\ t \in [0; 1] \end{cases} \quad \beta_0(\gamma) = \begin{cases} \beta_{ini} + \frac{\beta_{max} - \beta_{ini}}{\tan \gamma_{bmax}} \cdot \tan \gamma & \text{if } 0 \leq \gamma \leq \gamma_{bmax} \\ \beta_{max} & \text{if } \gamma_0 < \gamma \leq \pi - \gamma_{bmax} \\ \beta_{ini} - \frac{\beta_{max} - \beta_{ini}}{\tan \gamma_{bmax}} \cdot \tan \gamma & \text{if } \pi - \gamma_{bmax} < \gamma \leq \pi \end{cases}$$

# SCHEMATIZZAZIONE

## ● Parametrizzazione del rinfiacco

$$\begin{cases} x_{bk}(\gamma, \beta, t) = x_e(\gamma, \beta) \\ y_{bk}(\gamma, \beta, t) = y_e(\gamma, \beta) + t_r [R_{2e} - y_e(\gamma, \beta)] \\ z_{bk}(\gamma, \beta, t) = z_e(\gamma, \beta) \end{cases} \quad \begin{cases} \gamma \in [0; \pi] \\ \beta \in \left[ -\frac{\beta_0(\gamma)}{2}, \frac{\beta_0(\gamma)}{2} \right] \\ t_r \in [0; 1] \end{cases}$$



# DISPOSIZIONE DEL RINFORZO

