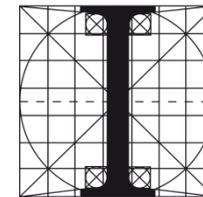




Università degli Studi
di Salerno

Corso di
**VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ
E PROGETTAZIONE DELL'ADEGUAMENTO
STRUTTURALE DI COSTRUZIONI ESISTENTI**
ai sensi del D.M. 14/01/2008



ORDINE DEGLI
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA
DI SALERNO



**ESERCITAZIONE SULLA PROGETTAZIONE DI INTERVENTI DI
ADEGUAMENTO CON TECNICHE TRADIZIONALI**

Ing. Carmine Lima
(Università degli Studi di Salerno)

Responsabile Scientifico: Prof. Ing. Luigi Ascione (Università degli Studi di Salerno)
Coordinatore del Corso: Prof. Ing. Michele Brigante (Ordine degli Ingegneri di Salerno)



FONDAZIONE
ORDINE DEGLI
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA
DI SALERNO

- **Introduzione**
 - Classificazione degli Interventi
 - Strategie di Adeguamento Sismico
 - ✓ *Strategia per Rigidezza/Resistenza*
 - ✓ *Strategia per Spostamento*
- **Rinforzo Statico di Solai e/o travi**
- **Irrigidimento**
 - Controventi Metallici
 - Pareti in c.a.
- **Camicie in Acciaio**
- **Camicie in c.a.**



La Valutazione della sicurezza deve permettere di stabilire se:

- L'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- L'uso debba essere modificato (declassamento, cambio destinazione d'uso e/o imposizioni di limitazioni nell'uso);
- Sia necessario prevedere interventi idonei al fine di ripristinare o aumentare la capacità portante in condizioni statiche e/o sismiche.



INTRODUZIONE – Classificazione degli Interventi

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

➤ **Interventi di Adeguamento**

Volti a conseguire i **livelli di sicurezza** previsti dalle norme

➤ **Interventi di Miglioramento**

Volti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente **senza** necessariamente raggiungere i **livelli di sicurezza** previsti dalle norme

➤ **Riparazioni o Interventi locali**

Che interessano elementi isolati e che comunque comportino il **miglioramento delle condizioni di sicurezza** preesistenti.

(n.b.: gli interventi di adeguamento e miglioramento sono sottoposti a collaudo statico)



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio

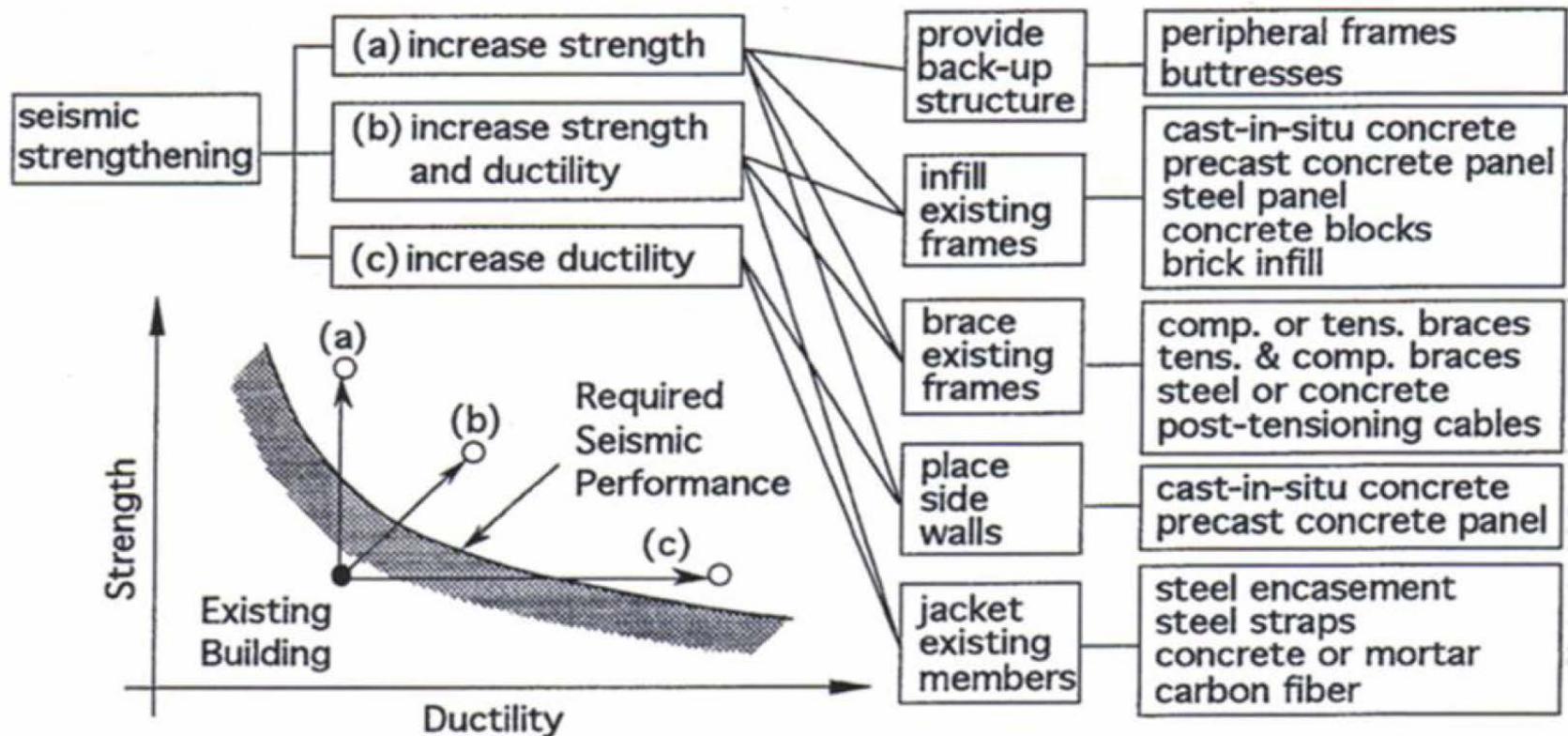


Camicie in c.a.

INTRODUZIONE – Strategie di Adeguamento Sismico

Si suddividono essenzialmente in due classi:

- Strategie che ci permettono di pervenire all'adeguamento attraverso **Incremento di Resistenza e Rigidezza**
- Strategie che permettono di ottenere l'**Incremento della Capacità di Spostamento (duttilità)** della struttura.



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

INTRODUZIONE – Strategie di Adeguamento Sismico

Tecnica	Effetti locali	Effetti globali	Costo relativo	"Disturbo"	Livello tecnologico	Commenti
Iniezione di resine	Ripristino resistenza e rigidezza	Nessuno	Da basso a medio	Basso	Medio	Approccio di ripristino
Camicie in c.a.	Incremento rigidezza e resistenza ed eventualmente duttilità	Modifica della risposta sismica. Se applicate ai pilastri, sposta la richiesta plastica verso le travi	Basso, per elemento	Da medio a alto	Basso, a meno che non si faccia uso estensivo di saldature	Può porre rimedio alla risposta di "piano soffice". Se interessa pochi piani, può spostare tale meccanismo ai piani superiori
Camicie o collari in acciaio	Incremento duttilità e resistenza a taglio. Garantendo una forte azione composita, incremento di rigidezza	Incremento capacità deformativa globale	Medio	Basso	Medio	Efficace ove il principale problema sia scarsa armatura trasversale. Veloce installazione.
Fasciatura parziale con FRP	Sensibile incremento di duttilità. Limitati effetti su resistenza o rigidezza	Come per collari in acciaio	Alto	Basso	Da medio a alto	Soluzione adeguata quando il costo non è un criterio predominante
Rinforzo dei nodi con FRP	Eliminazione rottura a taglio dei nodi	Riduce marginalmente il drift globale riducendo la deformabilità dei nodi trave-pilastro	Alto	Basso	Da medio a alto	Come sopra



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

INTRODUZIONE – Strategie di Adeguamento Sismico

Tecnica	Effetti locali	Effetti globali	Costo relativo	"Disturbo"	Livello tecnologico	Commenti
Fasciatura completa in FRP	Notevole incremento di duttilità e resistenza a taglio; piccolo incremento di rigidezza	Distribuzione delle rigidezze invariata. Sensibili effetti in termini di distribuzione delle resistenze	Alto	Basso	Da medio a alto	Come sopra
Tecniche selettive	Incremento di un parametro scelto o di una combinazione di parametri	Regola la risposta strutturale per adeguarla agli obiettivi prestazionali	Basso, per elemento	Medio	Da medio a alto (maggiore per le analisi ed il know-how che non per i materiali)	E' l'approccio più adeguato se si dispone di elevate capacità di analisi ed esperienza di ingegneri specializzati
Pareti in c.a.	Potrebbe portare ad un incremento di sollecitazioni nelle immediate vicinanze	Riduzione drastica della domanda di deformazione in tutti gli altri elementi. Risolve i problemi di "piano soffice"	Medio	Alto	Basso	E' l'approccio più adeguato se il "disturbo" arrecato non è un problema. E' necessario un drastico intervento in fondazione.
Controventi in acciaio	Protezione nei confronti del collasso di elementi fragili in c.a. posti nelle vicinanze. Può indurre notevoli sollecitazioni nei nodi.	Incremento di duttilità globale a capacità dissipativa. Può risolvere i problemi di "piano soffice".	Da medio a alto.	Da basso a medio	Medio	Occorre porre attenzione nel progetto di aste e connessioni al fine di proteggersi da fenomeni di instabilità locale e rotture post-buckling.



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

RINFORZO STATICO DI SOLAI E/O TRAVI



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



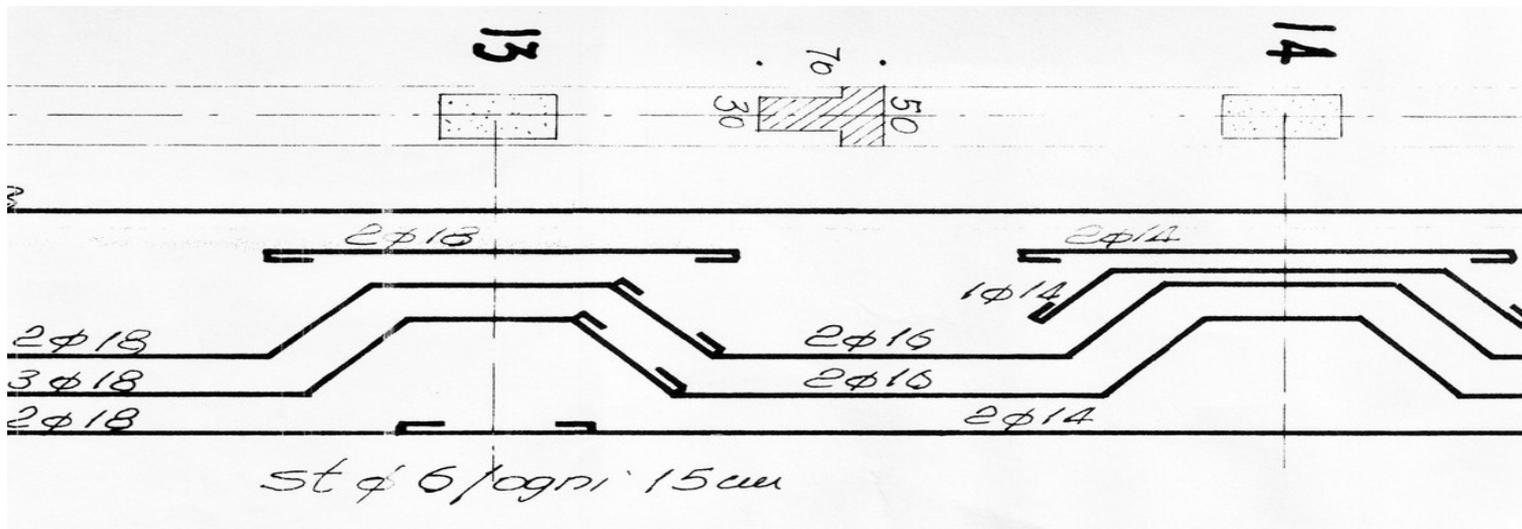
Camicie in c.a.

RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

Prima di considerare il grado di sicurezza sismico delle strutture occorre verificare che esse possono resistere ai carichi verticali.

Frequentemente ci si trova di fronte a strutture che hanno subito cambi di destinazione d'uso e/o modifiche che hanno comportato l'aumento dei carichi di progetto oppure la trasformazione dell'organismo strutturale iniziale.

L'operazione preliminare consiste nella verifica (anche con metodi approssimati) a flessione e taglio dei solai e delle travi e in una verifica a presso-flessione dei pilastri.



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



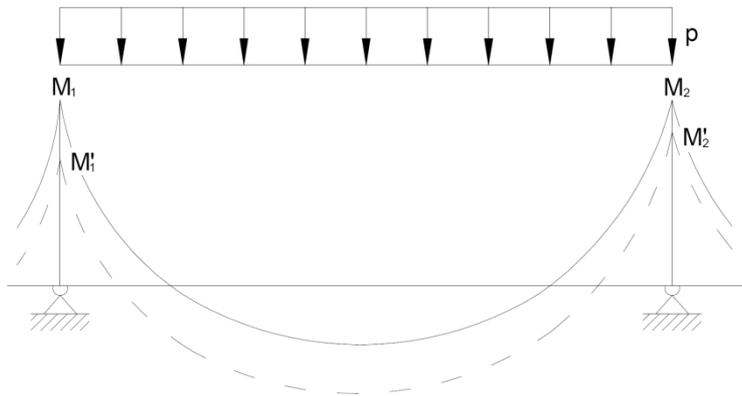
Camicie in c.a.

RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

Flessione di travi e solai: è possibile far riferimento al Metodo della Ridistribuzione dei Momenti;

Taglio: è possibile considerare il contributo dei piegati.

La ridistribuzione non è ammessa per i pilastri e per i nodi dei telai, è consentita per le travi continue e le solette, a condizione che le sollecitazioni di flessione siano prevalenti ed i rapporti tra le luci di campate contigue siano compresi nell'intervallo 0,5-2,0.



$$\delta \geq 0.44 + 1.25 \cdot \left(0.6 + \frac{0.0014}{\epsilon_{cu}} \right) \cdot \frac{x}{d}$$

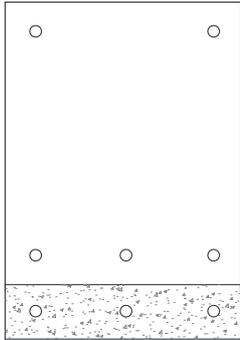
Per le travi e le solette che soddisfano le condizioni dette la ridistribuzione dei momenti flettenti può effettuarsi senza esplicite verifiche in merito alla duttilità delle membrature, purché il rapporto δ tra il momento dopo la ridistribuzione ed il momento prima della ridistribuzione risulti $1 \geq \delta \geq 0,70$

dove d è l'altezza utile della sezione, x è l'altezza della zona compressa e ϵ_{cu} è la deformazione ultima del calcestruzzo

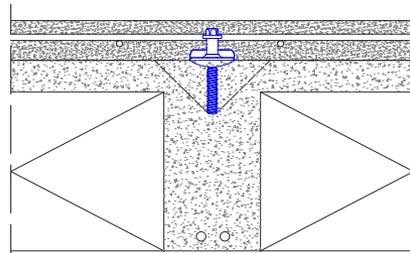


RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

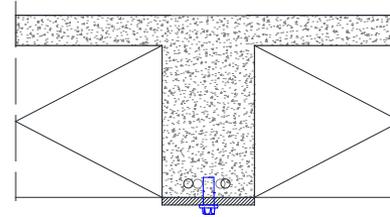
Rinforzo a flessione



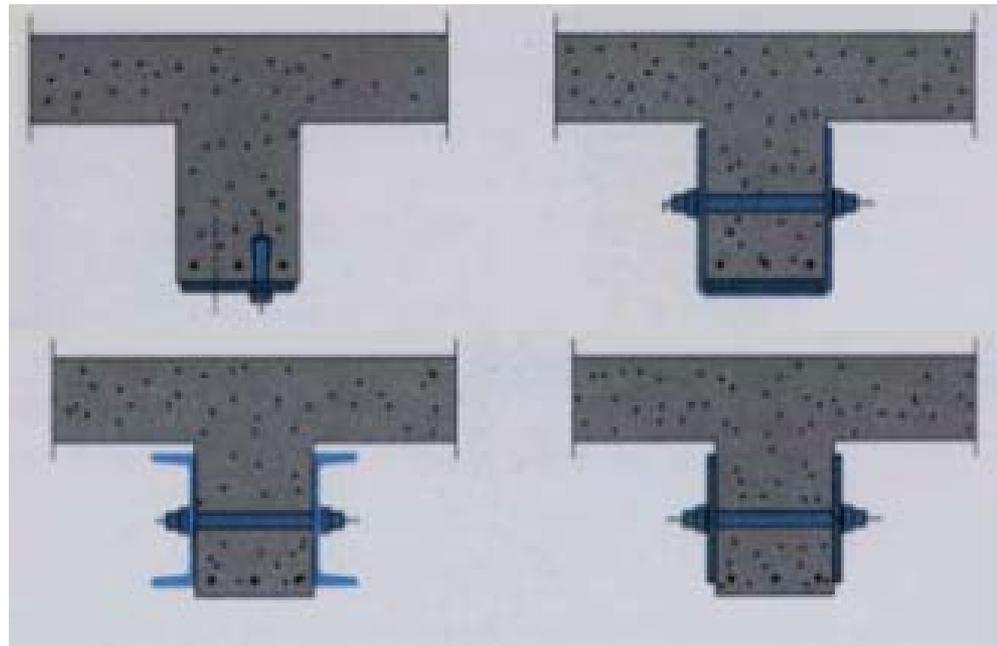
Armatura integrativa in trazione



Soletta collaborante all'estradosso (incremento di rigidità)



Lamine in acciaio all'intradosso ancorate meccanicamente



RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

Calcolo della Resistenza della sezione Rinforzata

- Si deve tener conto della sovrapposizione dello **stato deformativo pre-esistente** dovuto ai carichi agenti al momento del rinforzo e delle deformazioni **della sezione rinforzata**.

Le ipotesi sono:

- Conservazione sezioni piane;
- Perfetta aderenza tra angolari e calcestruzzo;
- Calcestruzzo non reagente a trazione;
- Omogeneità e isotropia del calcestruzzo in zona compressa e dell'armatura.

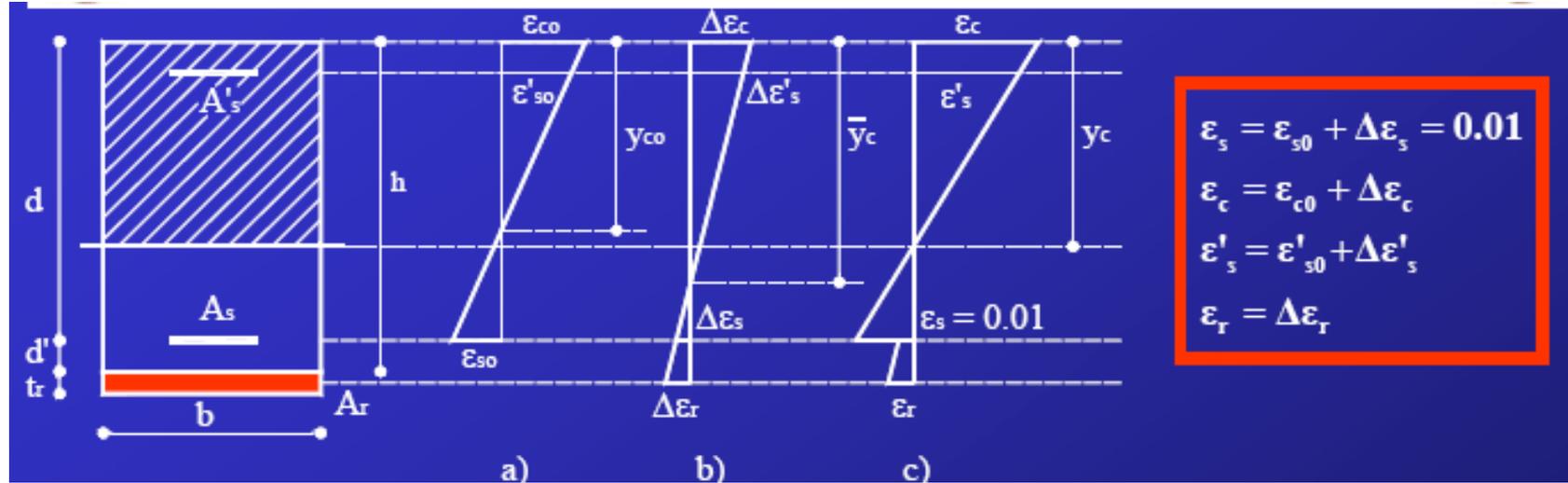
Modalità di crisi:

- Crisi acciaio pre-esistente;
- Crisi del calcestruzzo compresso;
- Crisi del Rinforzo
 - ✓ rottura del rinforzo
 - ✓ Distacco del rinforzo per rottura della connessione



RINFORZO STATICO DI SOLAI E/O TRAVI

Rinforzo a flessione - Crisi Acciaio Preesistente (noto ϵ_{su})



Dal diagramma delle deformazioni (c) si ottiene:

$$\epsilon'_s = \frac{\epsilon_{su}}{d - y_c} (y_c - d')$$

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_{su}}{d - y_c} y_c$$

$$\Delta \epsilon'_s = \epsilon'_s - \epsilon'_{s0}$$

$$\Delta \epsilon_c = \epsilon_c - \epsilon_{c0}$$

$$\Delta \epsilon_s = \epsilon_{su} - \epsilon_{s0}$$

Si può calcolare $\Delta \epsilon_r$ dal diagramma (b)

$$\bar{y}_c = \frac{\Delta \epsilon_c}{\Delta \epsilon_c + \Delta \epsilon_s} \cdot d$$

$$\Delta \epsilon_r = \frac{h + \frac{t}{2} - \bar{y}_c}{y_c} \cdot \Delta \epsilon_c$$



RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

Rinforzo a flessione - Crisi Acciaio Preesistente (noto ϵ_{su})

Tensioni nell'acciaio pre-esistente:

$$\sigma_s = f_{sd}$$

$$\sigma'_s = f_{sd} \quad \text{se } \epsilon'_s > f_{sd}/E_s$$
$$\sigma'_s = E_s \cdot \epsilon'_s \quad \text{se } \epsilon'_s \leq f_{sd}/E_s$$

Tensioni nel rinforzo:

$$\sigma_r = f_{rd} \quad \text{se } \epsilon_r > f_{rd}/E_r$$
$$\sigma_r = E_r \cdot \epsilon_r \quad \text{se } \epsilon_r \leq f_{rd}/E_r$$

Si va a determinare l'asse neutro:

$$b \cdot y_c \cdot \psi \cdot f_{cd} + A'_s \cdot \sigma'_s - A_s \cdot \sigma_s - A_r \cdot \sigma_r = 0$$

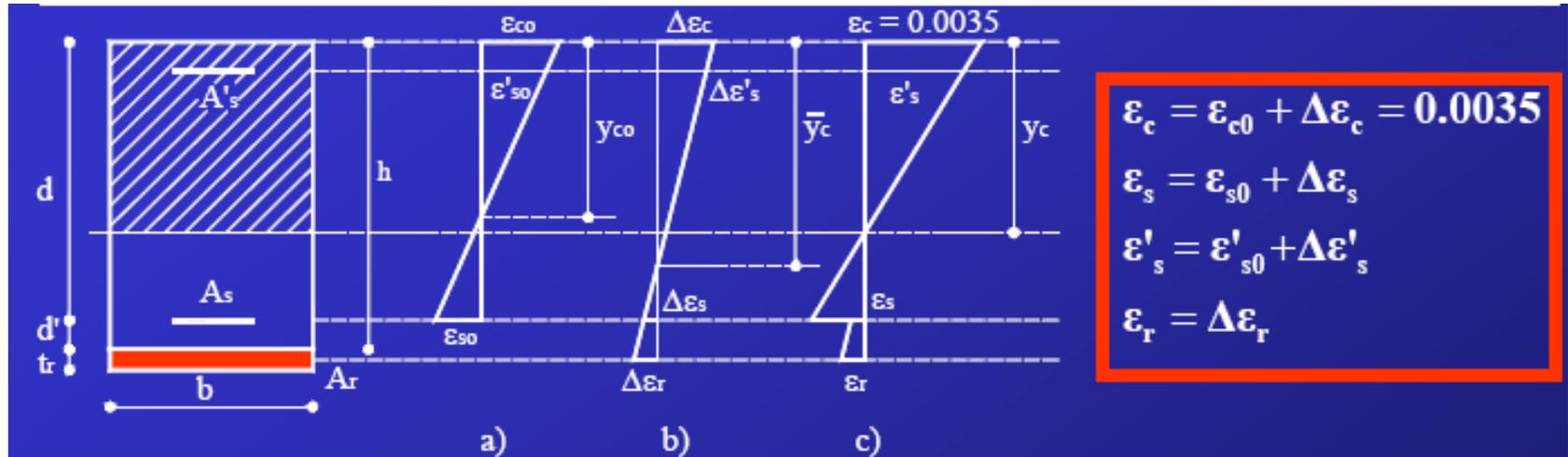
Nota y_c si verifica la validità delle ipotesi sulle deformazioni fatte e poi si procede a determinare il Momento Ultimo:

$$M_{UG} = b \cdot y_c \cdot \psi \cdot f_{cd} \cdot \left[\left(\frac{h}{2} \right) - \lambda \cdot y_c \right] + A'_s \cdot \sigma'_s \cdot \left[\frac{h}{2} - d' \right] + A_s \cdot \sigma_s \cdot \left[\frac{h}{2} - d' \right] + A_r \cdot \sigma_r \cdot \left[\frac{h}{2} + \frac{t_r}{2} \right]$$



RINFORZO STATICO DI SOLAI E/O TRAVI

Rinforzo a flessione - Crisi del Calcestruzzo Compresso (noto ϵ_{cu})



Dal diagramma delle deformazioni (c) si ottiene:

$$\epsilon'_s = \frac{y_c - d'}{y_c} \cdot 0.0035$$

$$\epsilon_s = \frac{d - y_c}{y_c} \cdot 0.0035$$

$$\Delta\epsilon'_s = \epsilon'_s - \epsilon'_{s0}$$

$$\Delta\epsilon_c = \epsilon_c - \epsilon_{c0}$$

$$\Delta\epsilon_s = \epsilon_{su} - \epsilon_{s0}$$

Si può calcolare $\Delta\epsilon_r$ dal diagramma (b)

$$\bar{y}_c = \frac{\Delta\epsilon_c}{\Delta\epsilon_c + \Delta\epsilon_s} \cdot d$$

$$\Delta\epsilon_r = \frac{h + \frac{t}{2} - \bar{y}_c}{y_c} \cdot \Delta\epsilon_c$$



RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

Rinforzo a flessione - **Crisi del Calcestruzzo Compresso (noto ϵ_{cu})**

Tensioni nell'acciaio pre-esistente:

$$\sigma'_s = f_{sd}$$

$$\sigma_s = f_{sd} \quad \text{se } \epsilon_s > \frac{f_{sd}}{E_s}$$
$$\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s \quad \text{se } \epsilon_s \leq \frac{f_{sd}}{E_s}$$

Tensioni nel rinforzo:

$$\sigma_r = f_{rd} \quad \text{se } \epsilon_r > \frac{f_{rd}}{E_r}$$
$$\sigma_r = E_r \cdot \epsilon_r \quad \text{se } \epsilon_r \leq \frac{f_{rd}}{E_r}$$

Si va a determinare l'asse neutro:

$$b \cdot y_c \cdot \psi \cdot f_{cd} + A'_s \cdot \sigma'_s - A_s \cdot \sigma_s - A_r \cdot \sigma_r = 0$$

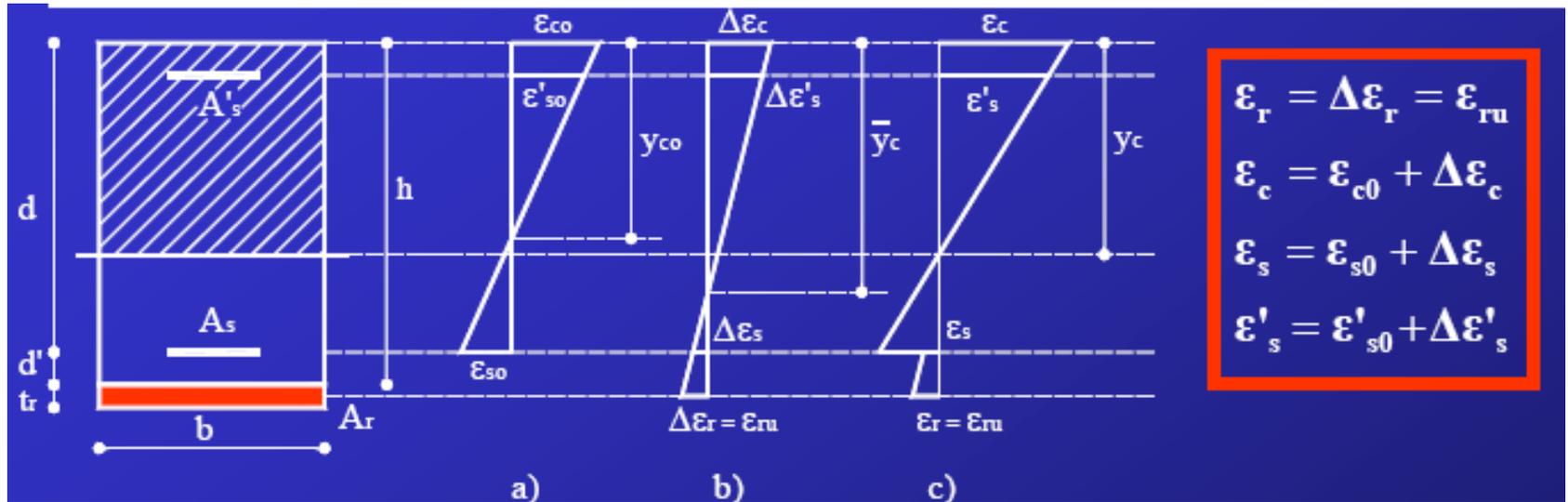
Noto y_c si verifica la validità delle ipotesi sulle deformazioni fatte e poi si procede a determinare il Momento Ultimo:

$$M_{UG} = b \cdot y_c \cdot \psi \cdot f_{cd} \cdot \left[\left(\frac{h}{2} \right) - \lambda \cdot y_c \right] + A'_s \cdot \sigma'_s \cdot \left[\frac{h}{2} - d' \right] + A_s \cdot \sigma_s \cdot \left[\frac{h}{2} - d' \right] + A_r \cdot \sigma_r \cdot \left[\frac{h}{2} + \frac{t_r}{2} \right]$$



RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

Rinforzo a flessione - Crisi del Rinforzo (noto ϵ_{ru})



Si possono calcolare tutti i $\Delta\epsilon$ dal diagramma (b)

$$\Delta\epsilon_s = \frac{d - \bar{y}_c}{h + \frac{t_r}{2} - \bar{y}_c} \cdot \epsilon_r$$

$$\Delta\epsilon'_s = \frac{\bar{y}_c - d'}{h + \frac{t_r}{2} - \bar{y}_c} \cdot \epsilon_r$$

$$\Delta\epsilon_c = \frac{\bar{y}_c}{h + \frac{t_r}{2} - \bar{y}_c} \cdot \epsilon_r$$



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



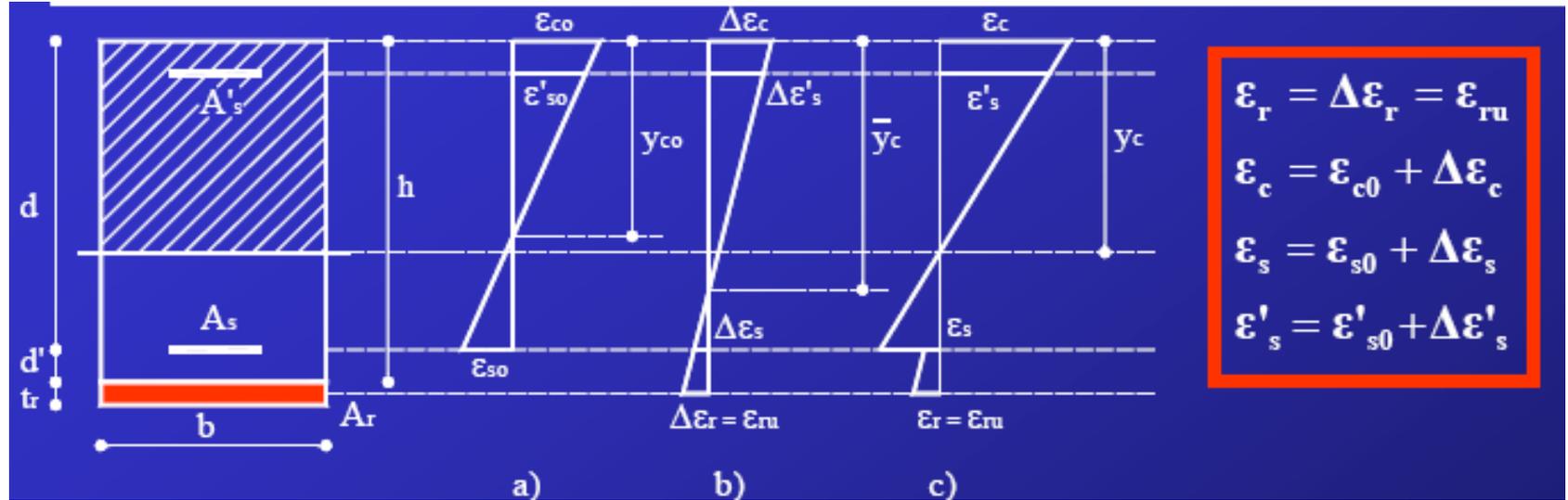
Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

Rinforzo a flessione - Crisi del Rinforzo (noto ϵ_{ru})



Le tensioni finali si possono determinare come somma tra il diagramma (a) ed il diagramma (b)

$$\epsilon'_s = \Delta\epsilon'_s - \epsilon'_{s0}$$

$$\epsilon_c = \Delta\epsilon_c - \epsilon_{c0}$$

$$\epsilon_s = \Delta\epsilon_{su} - \epsilon_{s0}$$

Dalla linearità del diagramma (c) si può determinare l'asse neutro finale y_c

$$y_c = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} \cdot d$$

Relazione tra la posizione finale dell'asse neutro y_c e la posizione del punto di nullo del diagramma della variazione delle deformazioni, individuato da \bar{y}_c



RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

Rinforzo a flessione - Crisi del Rinforzo (noto ϵ_{ru})

Tensioni nell'acciaio pre-esistente:

$$\sigma_s = f_{sd}$$

$$\begin{aligned} \sigma'_s &= f_{sd} & \text{se } \epsilon'_s > f_{sd}/E_s \\ \sigma'_s &= E_s \cdot \epsilon'_s & \text{se } \epsilon'_s \leq f_{sd}/E_s \end{aligned}$$

Tensioni nel rinforzo:

$$\sigma_r = f_{rd}$$

Si va a determinare l'asse neutro:

$$b \cdot y_c \cdot \psi \cdot f_{cd} + A'_s \cdot \sigma'_s - A_s \cdot \sigma_s - A_r \cdot \sigma_r = 0$$

Noto y_c si verifica la validità delle ipotesi sulle deformazioni fatte e poi si procede a determinare il Momento Ultimo della sezione rinforzata:

$$M_{UG} = b \cdot y_c \cdot \psi \cdot f_{cd} \cdot \left[\left(\frac{h}{2} \right) - \lambda \cdot y_c \right] + A'_s \cdot \sigma'_s \cdot \left[\frac{h}{2} - d' \right] + A_s \cdot \sigma_s \cdot \left[\frac{h}{2} - d' \right] + A_r \cdot \sigma_r \cdot \left[\frac{h}{2} + \frac{t_r}{2} \right]$$



RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

Rinforzo a flessione – **Approccio Semplificato NTC 2008**

Affinché la sezione sia idonea ad assorbire un momento di progetto pari a M_d si fanno le seguenti ipotesi:

- Armatura preesistente snervata;
- Rinforzo in trazione snervato;
- Si trascura il contributo dell'armatura in compressione

In virtù delle ipotesi fatte, con un equilibrio alla rotazione intorno al baricentro degli sforzi di compressione si ha:

$$A_s f_{sd} \cdot (d - \lambda y_c) + A_r f_{rd} \cdot \left(h - \frac{t_r}{2} - \lambda y_c \right) = M_d$$

Progetto del Rinforzo

Affinché la sezione abbia sufficiente duttilità si impone: $y_c = 0.25h$

Pertanto:

$$A_{r,\min} = \frac{M_d - A_s f_{sd} \cdot (d - \lambda y_c)}{f_{rd} \cdot \left(h + \frac{t_r}{2} - \lambda y_c \right)}$$



RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

Rinforzo a flessione – Approccio Semplificato NTC 2008

Affinché la sezione sia idonea ad assorbire un momento di progetto pari a M_d si fanno le seguenti ipotesi:

- Armatura preesistente snervata;
- Rinforzo in trazione snervato;
- Si trascura il contributo dell'armatura in compressione

Verifica della Sezione Rinforzata

Calcolo Asse Neutro:

$$\psi \cdot b \cdot y_c \cdot f_{cd} - A_s f_{sd} - A_r f_{rd} = 0$$

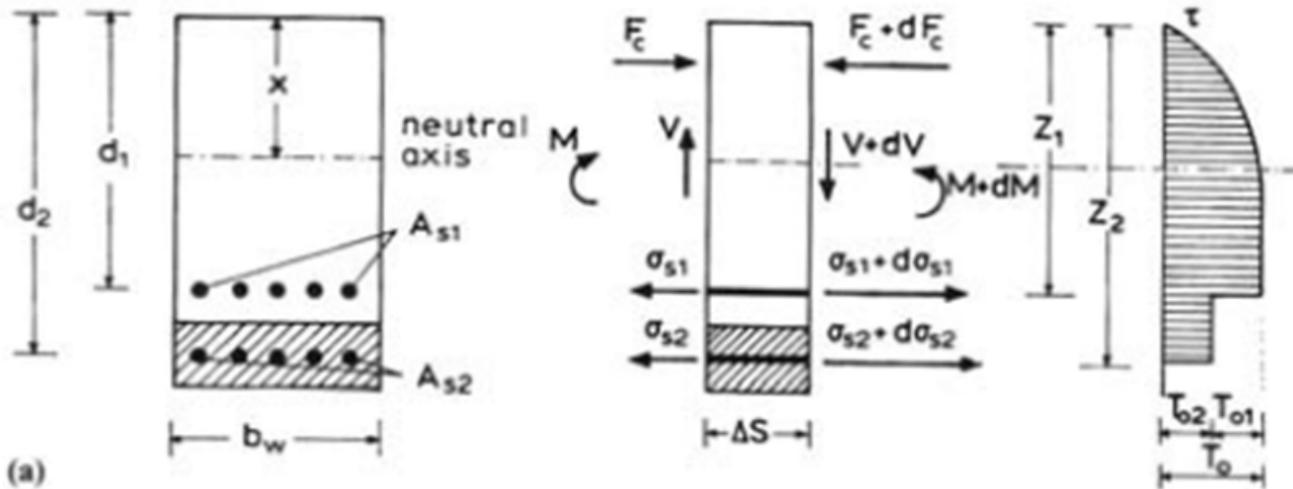
Calcolo Momento Ultimo della sezione rinforzata::

$$A_s f_{sd} \cdot (d - \lambda y_c) + A_r f_{rd} \cdot \left(h - \frac{t_r}{2} - \lambda y_c \right) = M_d$$



RINFORZO STATICO DI SOLAI E/O TRAVI

Rinforzo a flessione – Progetto della Connessione



$$d_{eq} = \frac{A_{s1}d_1 + A_{s2}d_2}{A_{s1} + A_{s2}}$$

$$\tau_{max} = \frac{V \cdot S_{max}}{I \cdot b_w} \cong \frac{V}{0.9 \cdot b_w \cdot d_{eq}}$$

Tensione all'interfaccia:

$$\tau_{int} = \frac{V \cdot S_{int}}{I \cdot b_w} = \frac{V \cdot S_{max}}{I \cdot b_w} \cdot \frac{S_{int}}{S_{max}} = \tau_{max} \frac{S_{int}}{S_{max}}$$

Calcolo x: $S_n = 0 \Rightarrow \frac{b \cdot x^2}{2} - n[A_{s1}(d_1 - x) + A_{s2}(d_2 - x)]$

$$S_{max} = \frac{b \cdot x^2}{2} = n[A_{s1}(d_1 - x) + A_{s2}(d_2 - x)]$$

$$S_{int} = \frac{b \cdot x^2}{2} - nA_{s1}(d_1 - x) = nA_{s2}(d_2 - x)$$

$$\frac{S_{int}}{S_{max}} = \frac{nA_{s2}(d_2 - x)}{n[A_{s1}(d_1 - x) + A_{s2}(d_2 - x)]} = \frac{1}{1 + \frac{A_{s1}(d_1 - x)}{A_{s2}(d_2 - x)}}$$



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



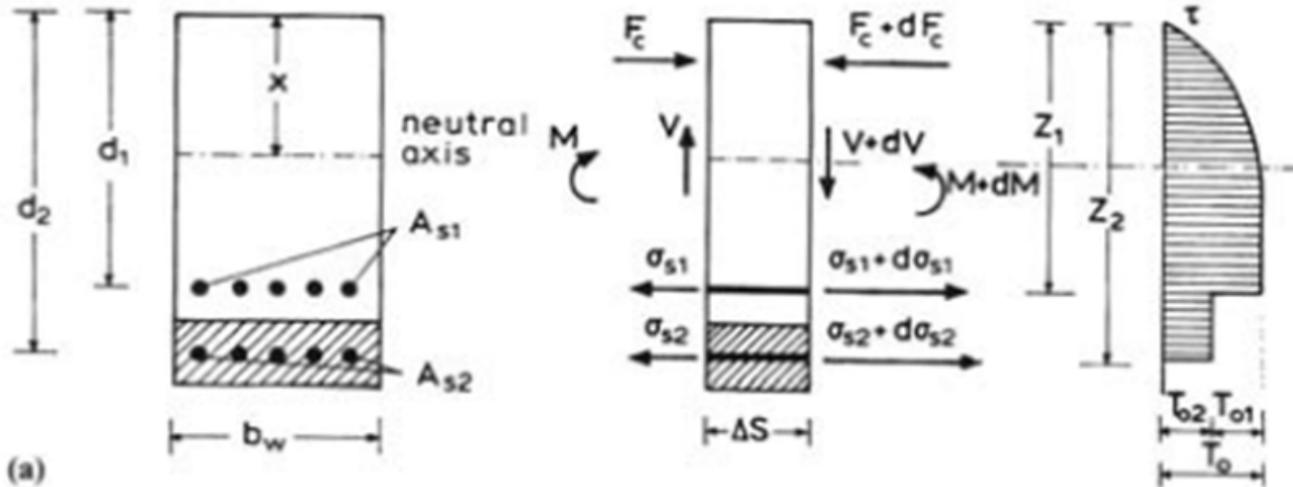
Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

RINFORZO STATICO DI SOLAI E/O TRAVI

Rinforzo a flessione – Progetto della Connessione



$$d_{eq} = \frac{A_{s1} d_1 + A_{s2} d_2}{A_{s1} + A_{s2}}$$

$$\tau_{max} = \frac{V \cdot S_{max}}{I \cdot b_w} \cong \frac{V}{0.9 \cdot b_w \cdot d_{eq}}$$

Tensione all'interfaccia: $\tau_{int} = \frac{V \cdot S_{int}}{I \cdot b_w} = \frac{V \cdot S_{max}}{I \cdot b_w} \cdot \frac{S_{int}}{S_{max}} = \tau_{max} \frac{S_{int}}{S_{max}}$

$$\tau_{int} = \frac{V}{0.9 \cdot b_w \cdot d_{eq}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{A_{s1}(d_1 - x)}{A_{s2}(d_2 - x)}}$$

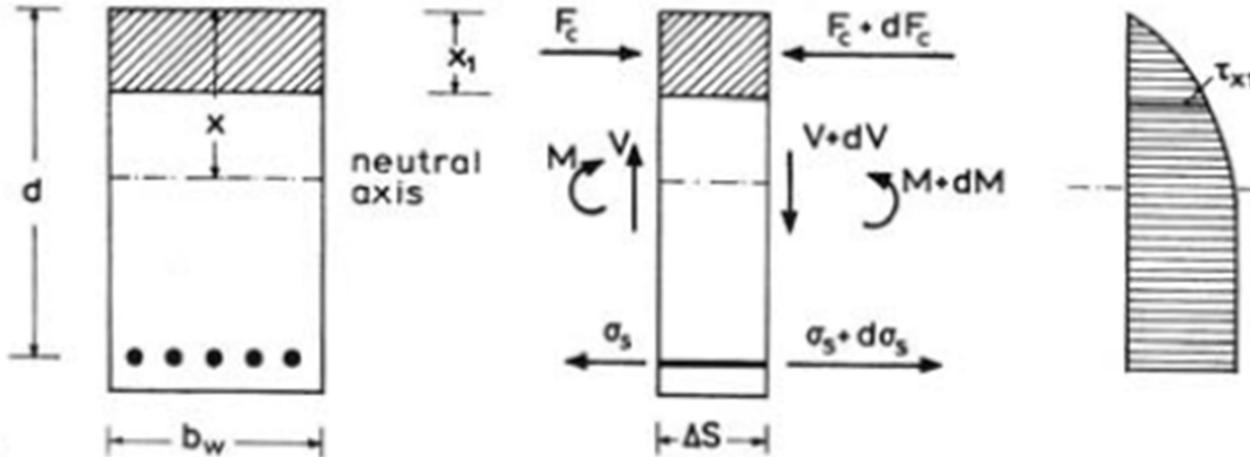
In modo semplificato a vantaggio di sicurezza

$$\tau_{int} = \frac{V}{0.9 \cdot b_w \cdot d}$$



RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

Rinforzo a flessione – Progetto della Connessione del caso di Soletta superiore



$$\tau_{\max} = \frac{V \cdot S_{\max}}{I \cdot b_w} \cong \frac{V}{0.9 \cdot b_w \cdot d}$$

$$\tau_{\text{int}} = \frac{V \cdot S_{\text{int}}}{I \cdot b_w} \cong \tau_{\max} \frac{S_{\text{int}}}{S_{\max}}$$

$$S_n = 0 \Rightarrow \frac{b \cdot x^2}{2} = n A_{s1} (d - x)$$

$$S_{\max} = \frac{b \cdot x^2}{2} = n [A_{s1} (d - x)]$$

$$S_{\text{int}} = b \cdot x_1 \left(x - \frac{x_1}{2} \right)$$

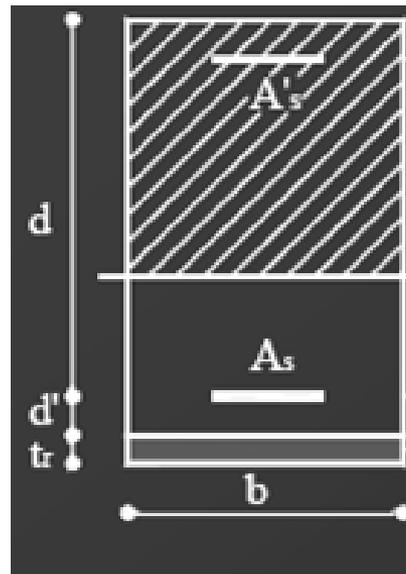
$$\tau_{\text{int}} = \frac{V}{0.9 \cdot b_w \cdot d} \cdot \frac{b_w \cdot x_1 \left(x - \frac{x_1}{2} \right)}{\frac{b_w \cdot x^2}{2}} = \frac{V}{0.9 \cdot b_w \cdot d} \cdot \frac{x_1}{x} \left(2 - \frac{x_1}{x} \right)$$



RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

ESEMPIO NUMERICO

TRAVE RINFORZATA CON LAMINA IN ACCIAIO IN ZONA TESA



Rinforzo a
Flessione



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio

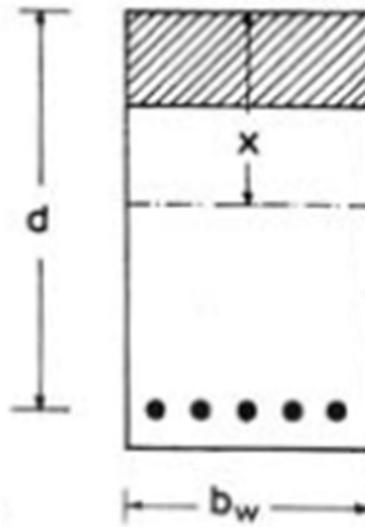


Camicie in c.a.

RINFORZO STATICO DI SOLAI E /O TRAVI

ESEMPIO NUMERICO

TRAVE RINFORZATA CON SOLETTA INTEGRATIVA



Rinforzo a
Flessione



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

IRRIDIDIMENTO



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio

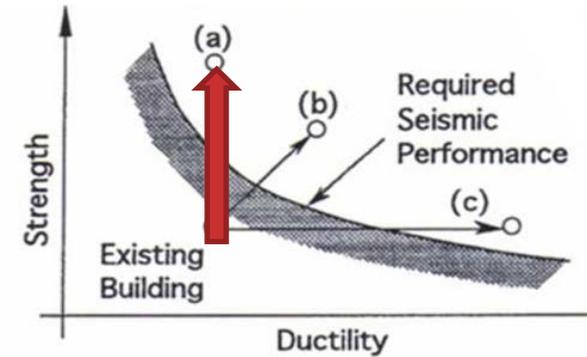


Camicie in c.a.

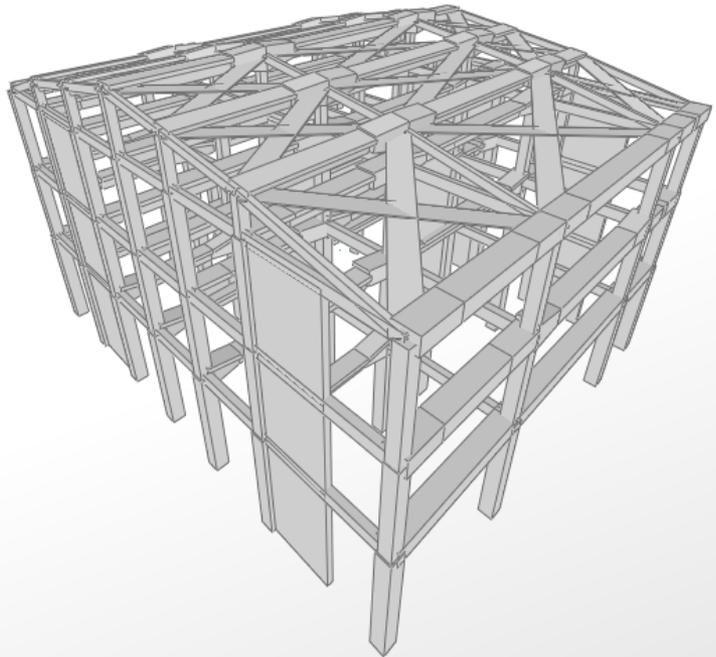
IRRIGIDIMENTO

Aumento della capacità con strutture integrative

Controllo della domanda sismica (spostamento) sulla struttura esistente



Inserimento di detti in c.a.



Inserimento controventi metallici

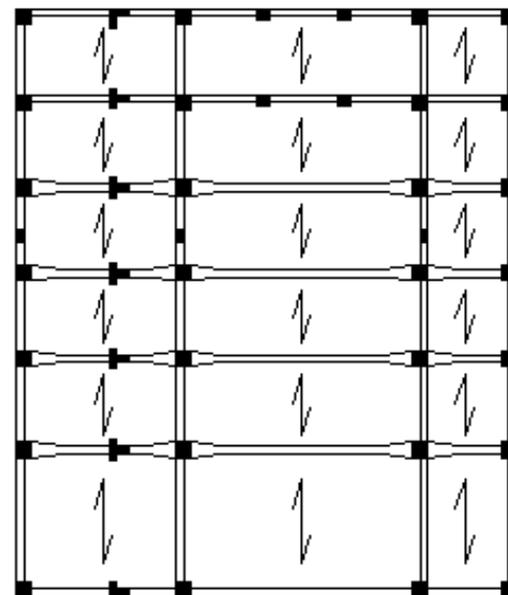
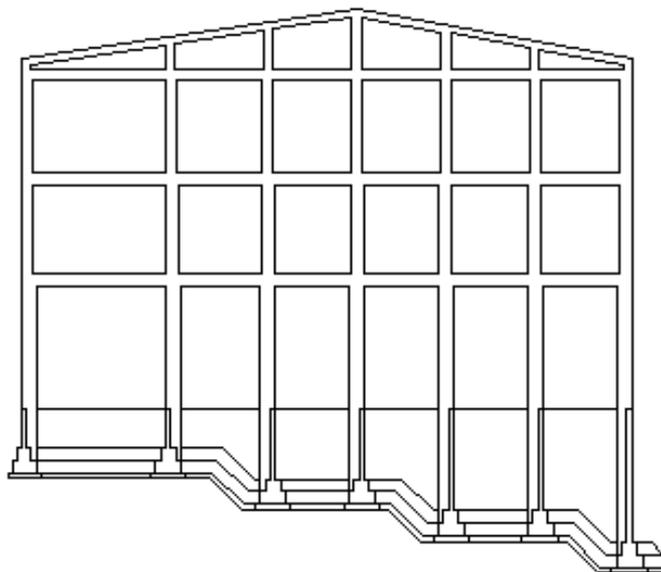
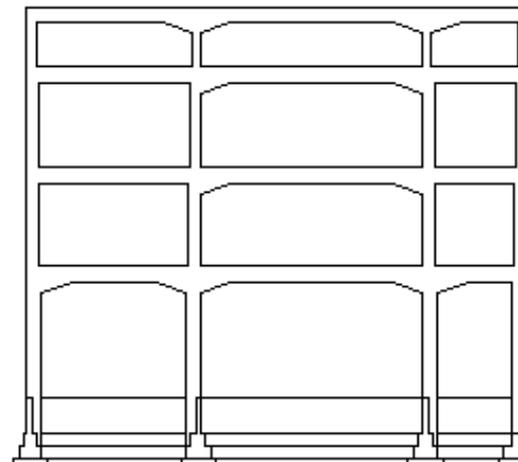


IRRIGIDIMENTO – Pareti in c.a.

Presentazione del Caso Studio

L'edificio scolastico su cui si interviene è sito in Montecalvo Irpino (AV) ed è una struttura intelaiata in c.a.. L'edificio è di tre piani più il sottotetto. Il tetto è realizzato con solaio latero-cementizio ed è composto di due falde inclinate di differente pendenza. I solai dell'impalcato tipo sono sempre latero-cementizi del tipo gettato in opera.

Le fondazioni sono a graticcio di travi con sezione a T rovescia, l'altezza della sezione risulta variabile per meglio seguire l'andamento del terreno.



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



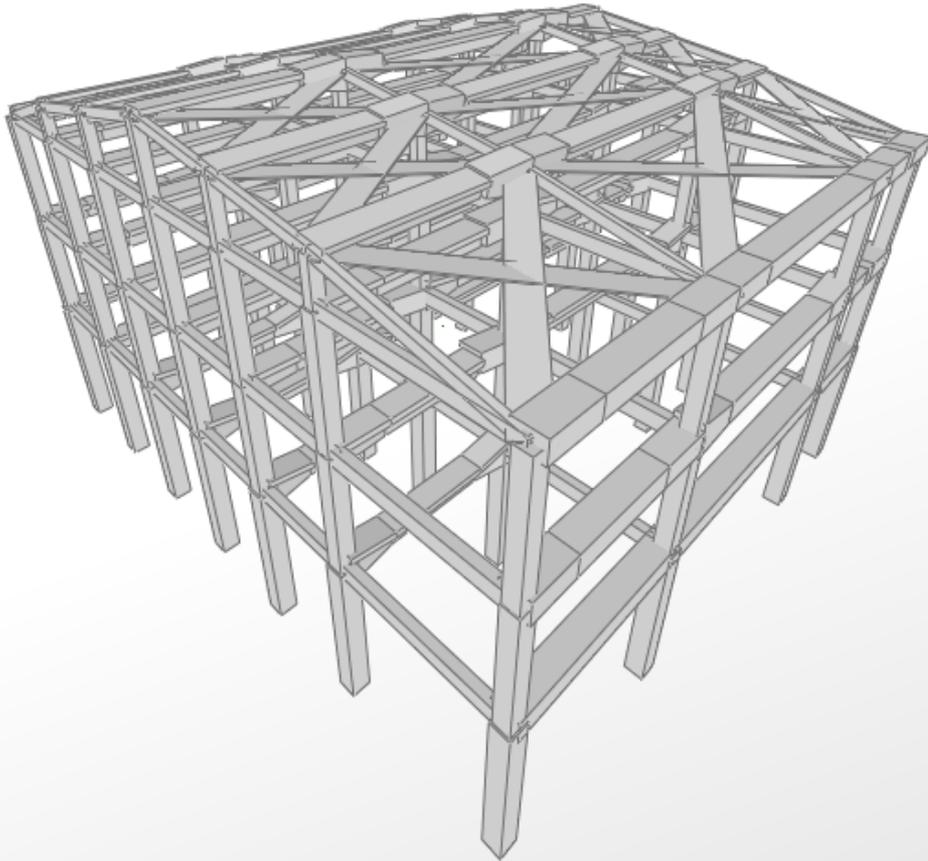
Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

Metodo di Analisi

Non ritenendo necessaria una Analisi Non Lineare è stata effettuata una Analisi Lineare ai sensi delle NTC 2008.



Analisi lineare: Definizione del modello

- $q = 1$ è necessaria una verifica della regolarità del modello:
 - ✓ Meccanismi duttili: $\rho_i = D_i/C_i$
 $\rho_{\max}/\rho_{\min} < 2.5$
(si considerano solo i tutti i $\rho_i > 2$)
 - ✓ Meccanismi fragili: se $\rho_i > 1$
 $V_{S_i,j} = -\frac{M_{Ri,j} + M_{Rj,i}}{L} \pm \frac{q_d L}{2} \leftarrow D_i(M_{Rd}) < C_i$
se $\rho_i < 1$
 $D_i < C_i$
- $q > 1$ il valore del fattore di struttura deve essere compreso tra 1,5 e 3



Analisi lineare: Verifiche

- $q=1$

- I meccanismi duttili si verificano in termini di deformazioni

- $\theta_D < \theta_C$ $f_d = f_m/FC$

- I meccanismi fragili si verificano in termini di resistenze:

- $V(FC \cdot M_C) < V_C$ se $\rho_i > 1$ $f_d = f_m/(FC \cdot \gamma_M)$

- $V_D < V_C$ se $\rho_i < 1$ $f_d = f_m/(FC \cdot \gamma_M)$

- $q>1$

- Meccanismi duttili e fragili si verificano in termini di resistenze:

- $M_D < M_C$ $f_d = f_m/FC$

- $V_D < V_C$ $f_d = f_m/(FC \cdot \gamma_M)$



IRRIGIDIMENTO – Pareti in c.a.

Livello di conoscenza LC2 → FC = 1,2

In base alla struttura q = 3,9 → q = 3

Opere ordinarie

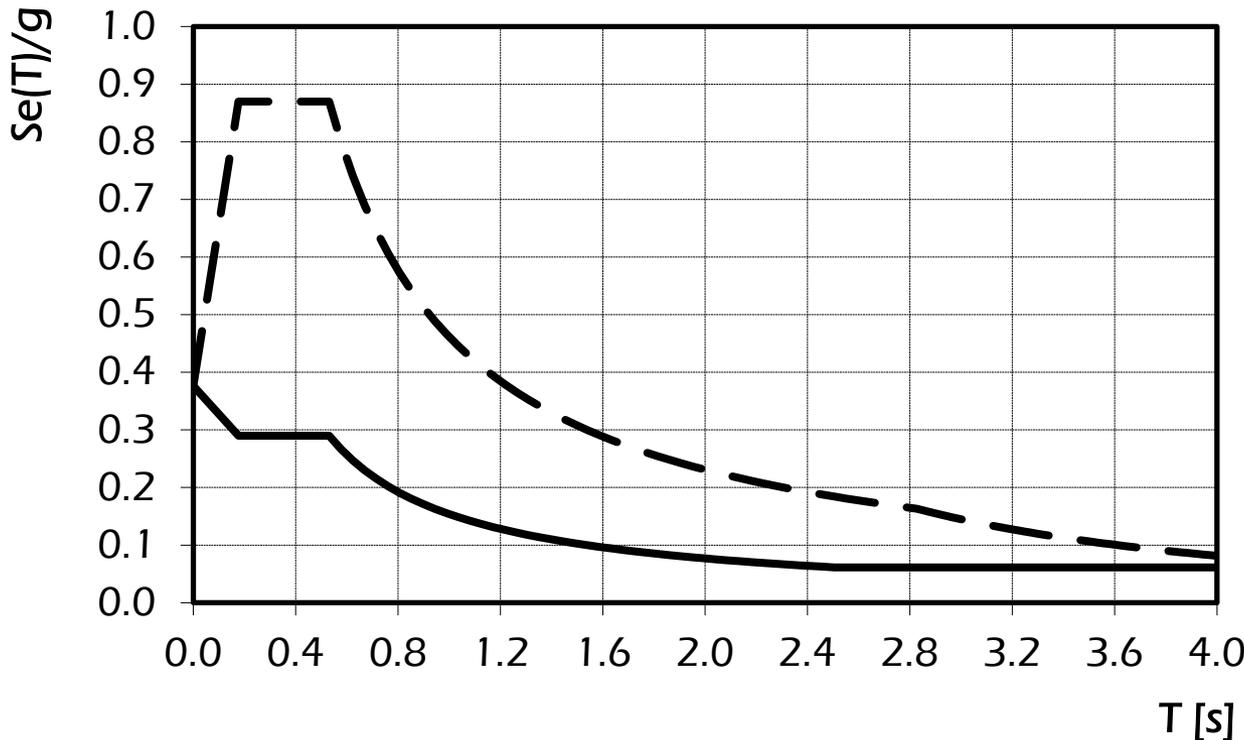
Classe d'uso III

$V_N=50$

$C_U=1,5$

→ $V_R=75$

$T_R=712$



$a_g/g=0,306$
 $T_C^*=0,402$
 $F_0=2,311$



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

Spettro elastico: Validità del modello

$$y_c = \frac{A_s \cdot f_{sd} + N_{sd}}{\psi \cdot b \cdot f_{cd}}$$

$$M_{Rd} = \psi \cdot b \cdot y_c \cdot f_{cd} \cdot (h/2 - \lambda \cdot y_c) + A_s \cdot f_{sd} \cdot (h/2 - d')$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta)$$

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot \sin\alpha$$

- Validità del modello:

- Per i pilastri abbiamo:

$$\rho_{min} = 1,168;$$

$$\rho_{max} = 3,481$$

- Per le travi abbiamo:

$$\rho_{min} = 0,642;$$

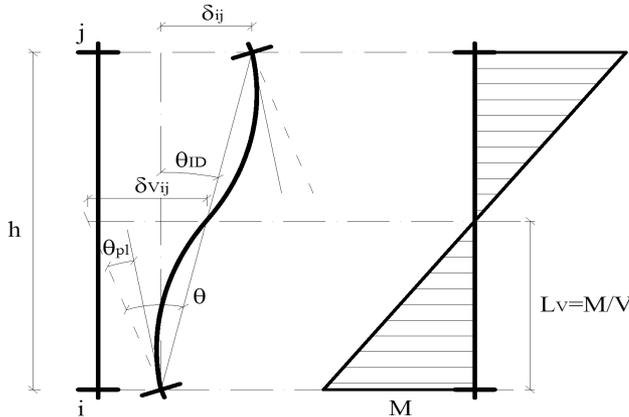
$$\rho_{max} = 4,059$$

- $\rho_{max}/\rho_{min} = 2,030$

Il modello è valido



Spettro elastico: Verifiche



$$\theta_{c,DL} = \theta_y = \phi_y \frac{L_v}{3} + 0.0013 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_v} \right) + 0.13 \phi_y \frac{d_b f_y}{\sqrt{f_c}}$$

$$\theta_{c,LS} = \frac{3}{4} \theta_u$$

$$\theta_{c,CO} = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.016 \cdot (0.3)^{\nu} \left[\frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} f_c \right]^{0.225} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0.35} 25^{\left(\alpha_{\rho_{sx}} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} 1.25^{100 \rho_d}$$

- Primo livello:

- Meccanismi duttili:
- Meccanismi fragili:

$$\min_i \{ (\theta_{c,LS,i} - \theta_{d,i}) / \theta_{c,LS,i} \} = -0,15$$

$$\min_i \{ (V_{Rd,i} - V_{Sd,i}) / V_{Rd,i} \} = -0,16$$

- Secondo livello:

- Meccanismi duttili:
- Meccanismi fragili:

$$\min_i \{ (\theta_{c,LS,i} - \theta_{d,i}) / \theta_{c,LS,i} \} = -0,30$$

$$\min_i \{ (V_{Rd,i} - V_{Sd,i}) / V_{Rd,i} \} = -0,14$$

- Terzo livello:

- Meccanismi duttili:
- Meccanismi fragili:

$$\min_i \{ (\theta_{c,LS,i} - \theta_{d,i}) / \theta_{c,LS,i} \} = 0,08$$

$$\min_i \{ (V_{Rd,i} - V_{Sd,i}) / V_{Rd,i} \} = 0,04$$



IRRIGIDIMENTO – Pareti in c.a.

Metodo di progetto

- L'intervento tende a ridurre le sollecitazioni sugli elementi esistenti inserendo nuovi elementi rigidi. Imponiamo che la domanda in termini di spostamento eguagli la capacità:

$$\delta_i = \frac{V_i}{k_i} = \theta_{d,i} \cdot H_i \longrightarrow \delta_i = \frac{V_i}{k_i + \Delta k_{p,i}} = \theta_{c,i} \cdot H_i$$

$$\Delta k_p = \frac{V_i}{\theta_{c,i} \cdot H_i} - k_i \quad \text{rigidezza richiesta}$$

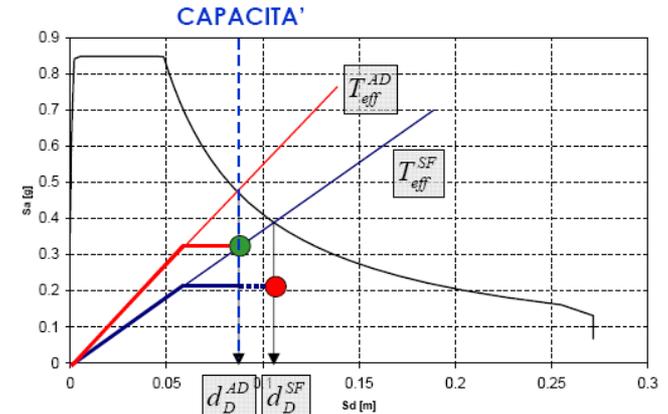
$$\Delta k_{p,i} = \frac{V_i}{\delta_{p,i}} = \frac{V_i}{\Delta_{p,i}(a_i, b_i) - \Delta_{p,i-1}(a_{i+1}, b_{i+1})} \quad \text{rigidezza di una parete}$$

Estrapoliamo quindi da $\Delta_{p,i}$ le dimensioni a e b delle pareti:

$$\delta_{p,1} = \Delta_{p,1} = \frac{1}{EI_1} \left(V_1 \frac{H_1^3}{3} + V_2 \frac{H_1^2 H_2}{3} + V_3 \frac{H_1^2 H_3}{3} \right) + \chi \frac{V_1 H_1}{GA_1}$$

$$\delta_{p,3} = \Delta_{p,3} - \Delta_{p,2} = \frac{1}{EI_1} \left(V_1 \frac{H_1^2 H_3}{2} + V_2 H_1 H_2 H_3 + V_3 H_1 H_3^2 \right) + \frac{1}{EI_2} \left(V_2 \frac{H_2^2 H_3}{2} + V_3 H_2 H_3^2 \right) + \frac{1}{EI_3} V_3 \frac{H_3^3}{3} + \chi \frac{V_3 H_3}{GA_3}$$

$$\delta_{p,2} = \Delta_{p,2} - \Delta_{p,1} = \frac{1}{EI_1} \left(V_1 \frac{H_1^2 H_2}{2} + V_2 H_1 H_2^2 + V_3 H_1 H_2 H_3 \right) + \frac{1}{EI_2} \left(V_2 \frac{H_2^3}{3} + V_3 \frac{H_2^2 H_3}{2} \right) + \chi \frac{V_2 H_2}{GA_2}$$



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

IRRIGIDIMENTO – Pareti in c.a.

Applicazione del metodo di progetto

$$\Delta k_p = \frac{V_i}{\theta_{c,i} \cdot H_i} - k_i \quad \text{rigidezza richiesta}$$

i	H _i	F _i	V _i	θ _{c,y,i}	θ _{c,x,i}	Δ _{max,x,i}	Δ _{max,y,i}	K _{x,i}	K _{y,i}	Δk ^(d) _{x,i}	Δk ^(d) _{y,i}
	[m]	[kN]	[kN]			[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	5.3	2178	8772	0.008	0.007	0.034	0.044	257831	199726	-61701	52735
2	4	2904	6594	0.008	0.008	0.065	0.090	215393	143343	-12401	59607
3	4	3690	3690	0.009	0.009	0.088	0.127	158126	98888	-56546	-33

i	Pareti lungo x	h _{p,x,i}	b _{p,x,i}	Δk* _{x,i}	Δk ^(c) _{x,i}	OK?	Pareti lungo y	h _{p,y,i}	b _{p,y,i}	Δk* _{y,i}	Δk ^(c) _{x,i}	OK?
		[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]			[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]	
1	0	2.9	0.25	36481	0	SI	4	2.85	0.25	34727	138908	SI
2	0	2.9	0.25	18103	0	SI	4	2.85	0.25	17201	68805	SI
3	0	2.9	0.25	8844	0	SI	4	2.85	0.25	8399	33597	SI

Anche se non risulterebbe necessario dal calcolo si inseriranno 5 pareti lungo y e 2 lungo l'asse x. Questo per far fronte all'incremento dell'azione sismica conseguente alla riduzione del periodo di vibrazione della struttura in seguito all'intervento.



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio

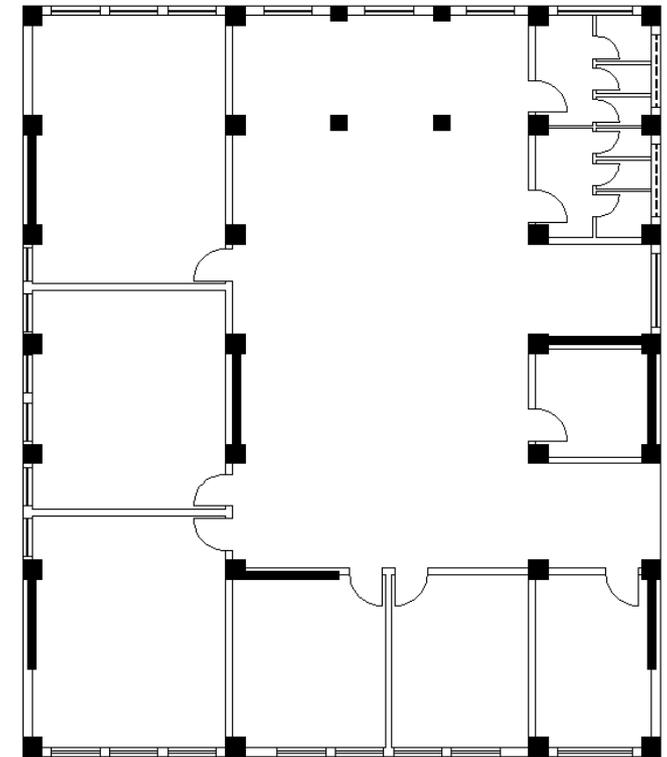
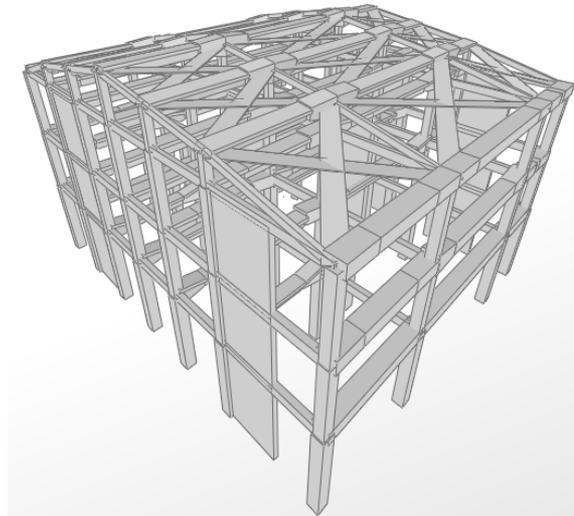


Camicie in c.a.

IRRIGIDIMENTO – Pareti in c.a.

➤ Analisi

- Dall'analisi sia statica che modale risultano necessarie 7 pareti, 2 lungo x e 5 lungo y.
- Sollecitazioni di calcolo pareti:
 - ✓ Momento: dal risultato dell'analisi traslato verso l'alto di h_{cr} ;
 - ✓ Taglio: risultante dall'analisi incrementato tramite il coefficiente $(q+1)/2$.
- Verifiche:
 - ✓ analoghe ai pilastri considerando però tutte le armature di parete.



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



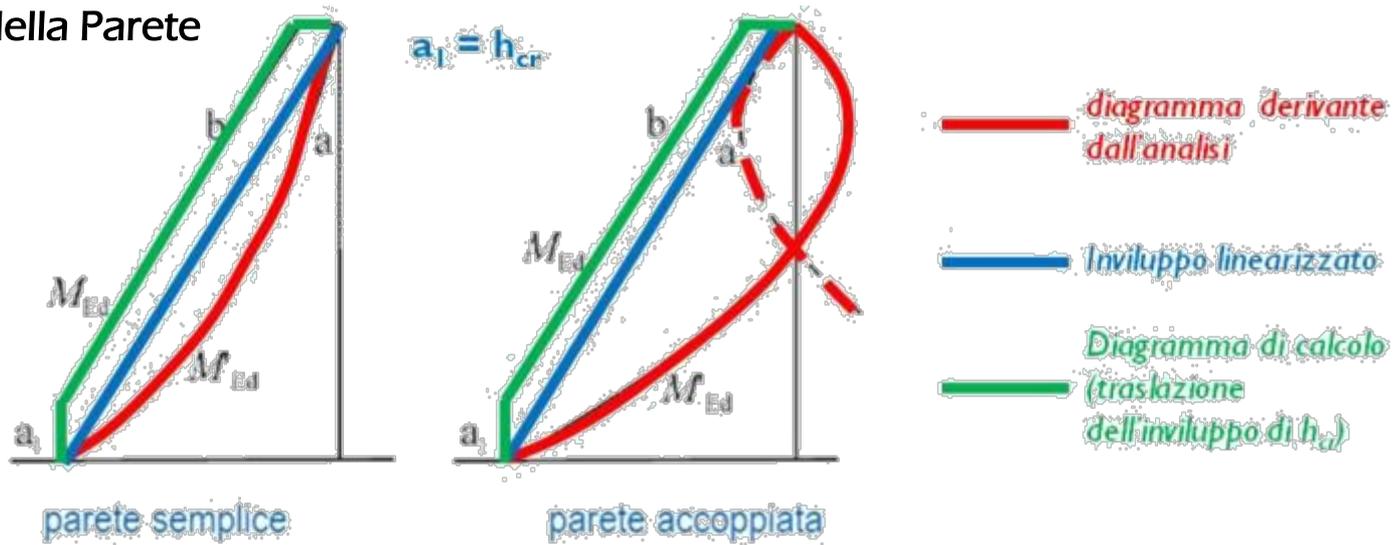
Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

IRRIGIDIMENTO – Pareti in c.a.

Progetto della Parete



$$h_{cr} = \max \begin{cases} \text{L'altezza della sezione trasversale } l_w \\ 1/6 \text{ dell'altezza della parete } h_w \end{cases}$$

h_{cr} deve essere inferiore all'altezza del piano terra per edifici con meno di 6 piani o a 2 volte l'altezza del piano terra per edifici con più di 6 piani, in nessun caso deve essere maggiore di 2 volte l'altezza della sezione trasversale l_w .

$$h_{r1} \leq h_{cr} \leq h_{r2}$$

$$h_{r1} = \max(l_w ; 1/6 h_w)$$

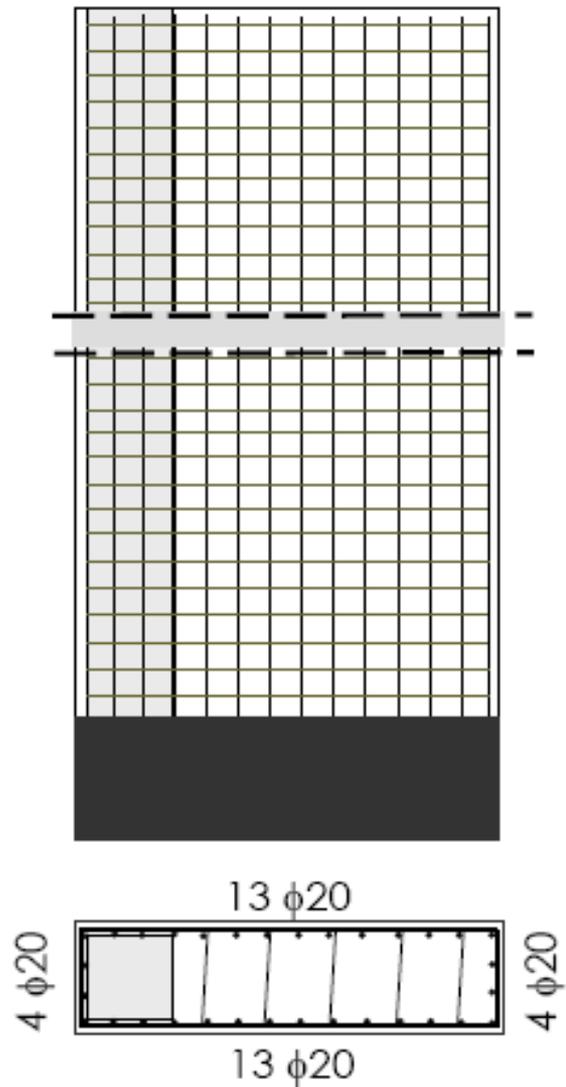
$$h_{r2} = \begin{cases} \min(h_{pt} ; 2 \cdot l_w) \\ \min(2 \cdot h_{pt} ; 2 \cdot l_w) \end{cases}$$

per edifici con meno di 6 piani

per edifici con più di 6 piani



IRRIGIDIMENTO – Pareti in c.a.



➤ Resistenza a flessione:

$$M = 0.9 M$$

➤ Deformabilità allo snervamento

$$\theta_y = 0.9 \theta_y$$

➤ Deformabilità ultima

$$\theta_u = \theta_u$$

IRRIGIDIMENTO – Pareti in c.a.

Per predimensionare le armature si ipotizza che le armature dell'area confinata debbano compensare l'80% del momento flettente sollecitante. Per la parete 1 al piano terra abbiamo:

$$M_{sd} = 4347.9 \text{ kNm} \quad A_s = 0,8M_{sd}/(d_i \cdot f_{sd}) = 3831.51 \text{ mm}^2 \gg \gg \quad 20\emptyset 16 = 4021.2386 \text{ mm}^2$$

Verifichiamo ora la sezione:

$$N_c(y_c) = A_{c,0,8yc} \cdot f_{cd} \quad N_s(y_c) = \sum A_{si} \cdot \sigma_{si}$$

$$l_w = 2.9 \text{ m} \quad f_{cd} = 11.33 \text{ MPa} \quad f_{sd} = 391.30 \text{ MPa} \quad E_s = 200000 \text{ MPa}$$

i	$\emptyset 16$ [-]	A_{si} [mm ²]	Y_{si} [mm]	ϵ_{si}	σ_{si} [MPa]	N_i [kN]	M_i [kNm]	
1	3	603	30	0.002	391.3	236.0	335.161	
2	2	402	100	0.002	378.3	152.1	205.34	
3	2	402	160	0.002	326.7	131.4	169.491	
4	2	402	230	0.001	266.6	107.2	130.809	$y_c = 0.5405567 \text{ m}$
5	2	402	290	0.001	215.1	86.5	100.346	
6	2	402	360	0.001	155.0	62.3	67.9482	$N_s(y_c) = -1505.3 \text{ kN}$
8	2	402	420	0.001	103.5	41.6	42.8713	
9	2	402	490	0.000	43.4	17.5	16.7567	
10	2	402	550	0.000	-8.1	-3.3	-2.9343	$A_{c,0,8yc} = 0.1081113 \text{ m}^2$
11	2	402	700	-0.001	-136.9	-55.0	-41.2862	$N_c(y_c) = 1225.2618 \text{ kN}$
12	2	402	1000	-0.002	-391.3	-157.4	-70.8088	
13	2	402	1300	-0.003	-391.3	-157.4	-23.6029	$N_{sd}(y_c) = -280.00 \text{ kN}$
14	2	402	1600	-0.005	-391.3	-157.4	23.6029	$N_{sd} = 280.007 \text{ kN}$
15	2	402	1900	-0.006	-391.3	-157.4	70.8088	
16	2	402	2200	-0.007	-391.3	-157.4	118.015	$M_{Rd,c} = 1511.7003 \text{ kNm}$
17	2	402	2350	-0.008	-391.3	-157.4	141.618	$M_{Rd,s} = 2893.855 \text{ kNm}$
18	2	402	2410	-0.008	-391.3	-157.4	151.059	$M_{Rd} = 4405.5553 \text{ kNm}$
19	2	402	2480	-0.008	-391.3	-157.4	162.073	
20	2	402	2540	-0.009	-391.3	-157.4	171.515	
21	2	402	2610	-0.009	-391.3	-157.4	182.529	$M_{sd} = 4347.9 \text{ kNm}$
22	2	402	2670	-0.009	-391.3	-157.4	191.97	OK
23	2	402	2740	-0.009	-391.3	-157.4	202.985	
24	2	402	2800	-0.010	-391.3	-157.4	212.426	
25	3	603	2870	-0.010	-391.3	-236.0	335.161	



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

IRRIGIDIMENTO – Pareti in c.a.

Al fine di escludere la formazione di meccanismi inelastici dovuti al taglio, le sollecitazioni di taglio da utilizzare per le verifiche ed il dimensionamento delle armature si ottengono dalla condizione di equilibrio del pilastro soggetto all'azione dei momenti resistenti nelle sezioni di estremità secondo l'espressione:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{C,Rd}^s + M_{C,Rd}^i}{h_w}$$

dove H_p è l'altezza della parete γ_{Rd} è un coefficiente che per le strutture CD"B" vale 1,10.

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta) \quad V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

Per le pareti si useranno ferri orizzontali Ø12

$\gamma_{Rd} =$	1.1	$s_{c,max} =$	96mm	$A_{sw} =$	226mm ²	2 Ø12
		$\alpha =$	90°			

Piano	H	b_w	l_w	$M_{C,Rd}^i$	V_{Ed}	V_{Rcd}	θ	s_{max}	s	V_{Rsd}	V_{Rd}
	[m]	[m]	[m]	[kNm]	[kN]	[kN]	[°]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]
1	5.3	0.25	2.9	4405.6	1828.72	1829	44.2511	128.33	120	1955.663	1829
2	4	0.25	2.9	2640.2	1452.1	1453	26.2876	318.736	200	2314.1856	1453
3	4	0.25	2.9	2739.6	1506.8	1507	27.7267	288.672	200	2174.8541	1507

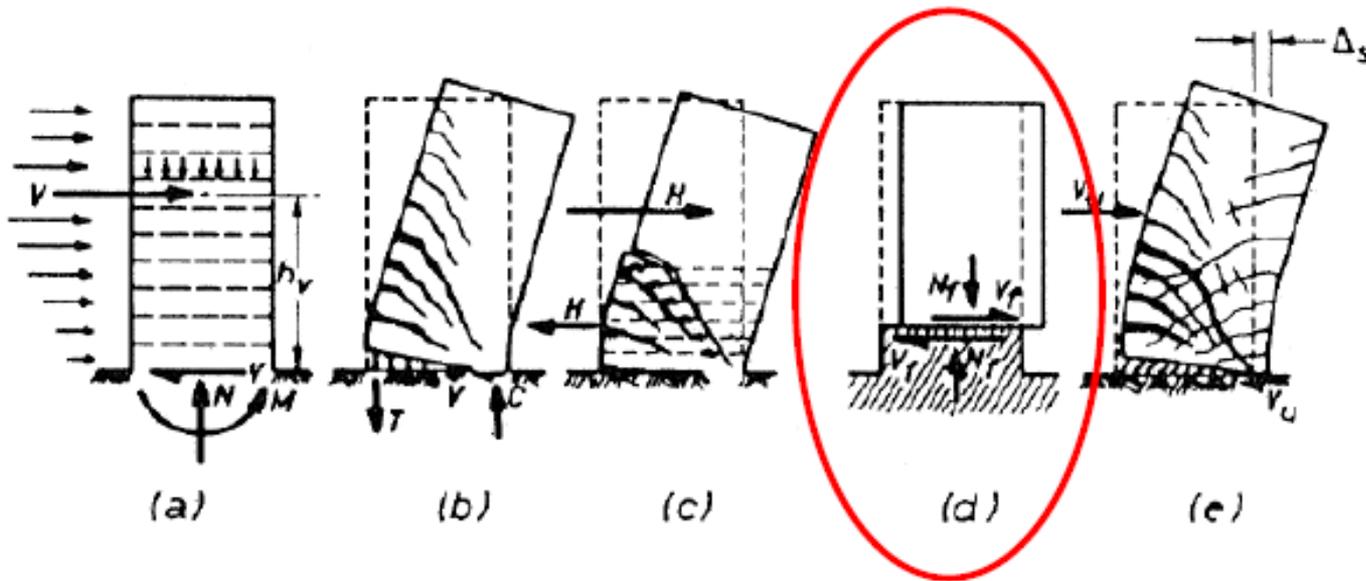


IRRIGIDIMENTO – Pareti in c.a.

Verifica a scorrimento nelle zone critiche

- Sui possibili piani di scorrimento (per esempio le riprese di getto o i giunti costruttivi) posti all'interno delle zone critiche deve risultare:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$



Verifica a scorrimento nelle zone critiche

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s}$$

- dove $V_{Rd,s}$ è il valore di progetto della resistenza a taglio nei confronti dello scorrimento

$$V_{Rd,s} = V_{dd} + V_{id} + V_{fd}$$

- V_{dd} rappresenta il contributo dell'effetto "spinotto" delle armature verticali
- V_{id} rappresenta il contributo delle armature inclinate presenti alla base
- V_{fd} rappresenta il contributo della resistenza per attrito



IRRIGIDIMENTO – Pareti in c.a.

Verifica a scorrimento nelle zone critiche

- I tre contributi sono forniti dalle seguenti espressioni:

$$V_{dd} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1.3 \sum A_{sj} \sqrt{f_d \cdot f_{yd}} \\ 0.25 f_{yd} \sum A_{sj} \end{array} \right.$$

$$V_{id} = f_{yd} \sum A_{si} \cos \phi$$

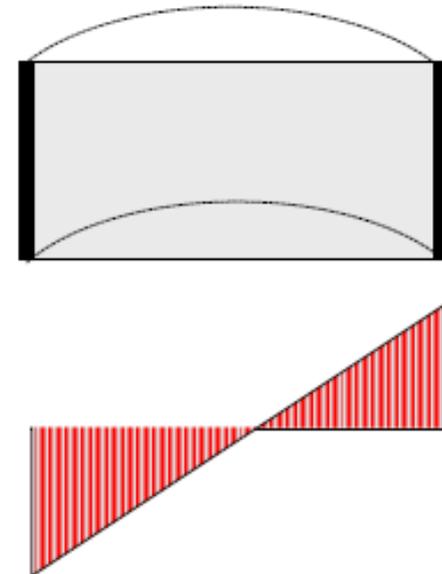
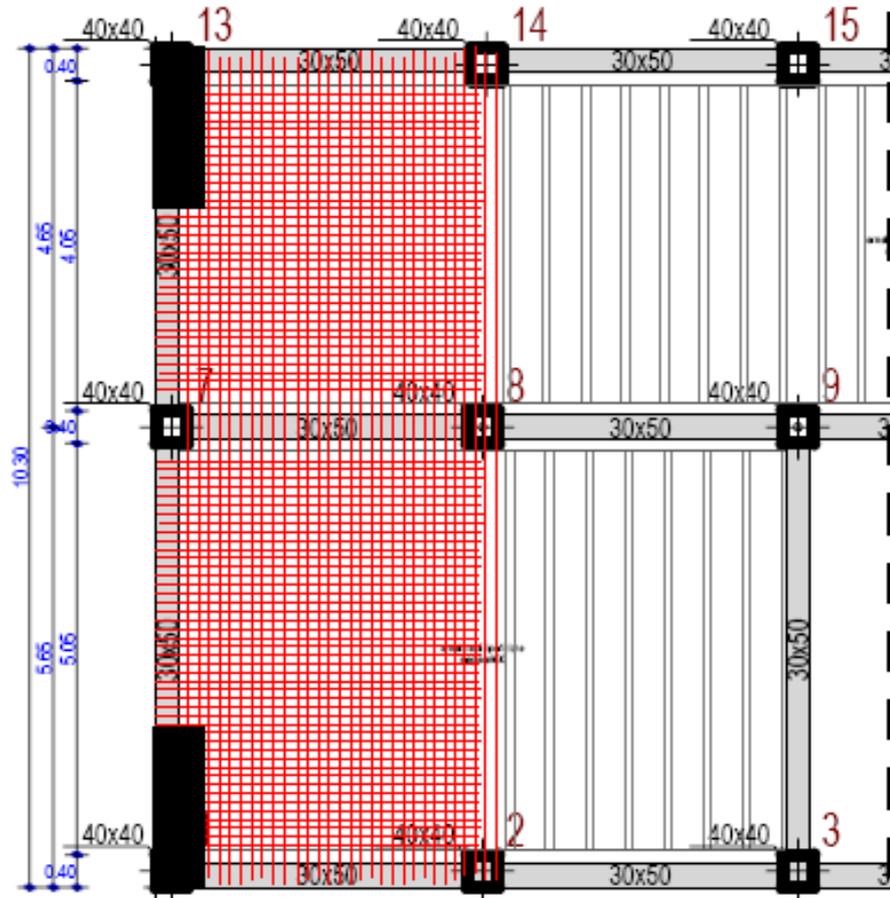
$$V_{sd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \mu_f \left[\left(\sum A_{sj} f_{yd} + N_{Ed} \right) \xi + M_{Ed} / Z \right] \\ 0.5 \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot \xi \cdot I_w \cdot b_{w0} \end{array} \right. \quad \eta = \alpha_j \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

μ_f	è il coefficiente d'attrito calcestruzzo-calcestruzzo sotto azioni cicliche (può essere assunto pari a 0,60),
$\sum A_{sj}$	la somma delle aree delle barre verticali intersecanti il piano contenente la potenziale superficie di scorrimento,
ξ	l'altezza della parte compressa della sezione normalizzata all'altezza della sezione,
A_{sj}	l'area di ciascuna armatura inclinata che attraversa il piano detto formando con esso un angolo ϕ_i .



IRRIGIDIMENTO – Pareti in c.a.

Rinforzo degli Impalcati



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



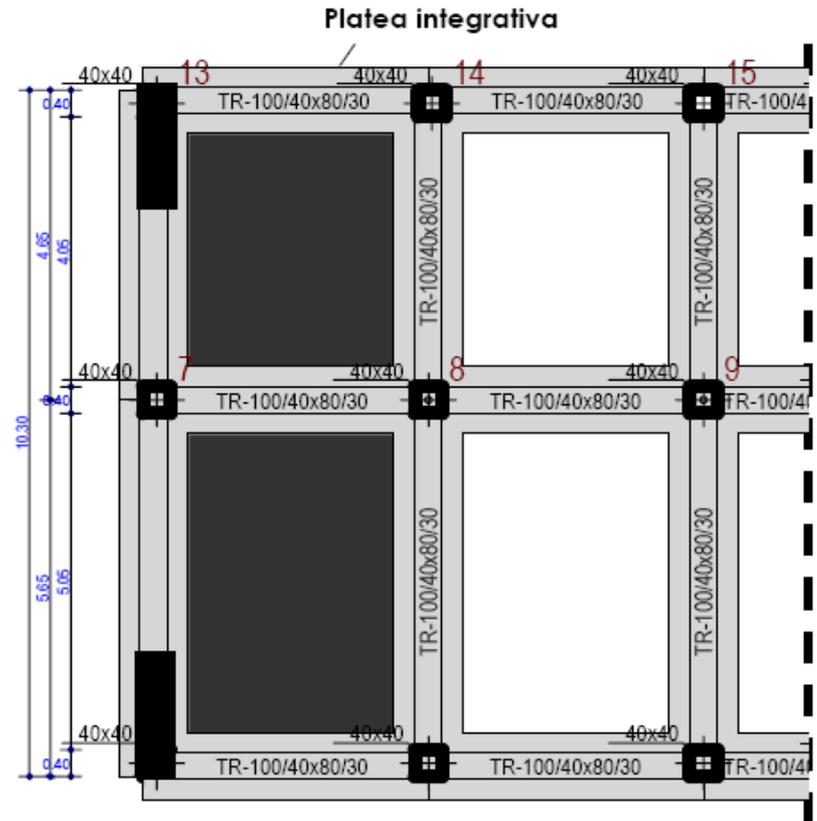
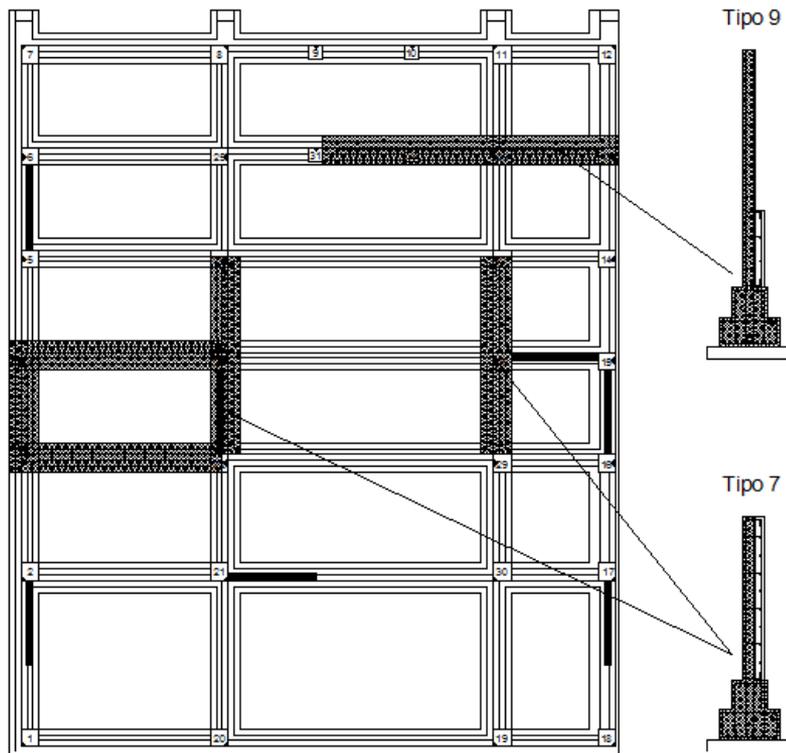
Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

IRRIGIDIMENTO – Pareti in c.a.

Interventi in Fondazione



Verifiche

- In termini di deformazioni sulla struttura esistente:
 - Primo livello: $\min_i\{(\theta_{SD,i}-\theta_i)/\theta_{SD,i}\} = 0,25$
 - Secondo livello: $\min_i\{(\theta_{SD,i}-\theta_i)/\theta_{SD,i}\} = 0,00$
 - Terzo livello: $\min_i\{(\theta_{SD,i}-\theta_i)/\theta_{SD,i}\} = 0,10$
- In termini di deformazione sulle pareti:
 - $\min_i\{(\theta_{SD,i}-\theta_i)/\theta_{SD,i}\} = 0,51$
- A carico limite per il terreno:
 - Verticale: $FS = 4,10 > 2,30$
 - Orizzontale: $FS = 1,57 > 1,10$

Gli elementi che prima dell'intervento presentavano crisi a taglio, a seguito dell'adeguamento risultano verificati.



IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici

Presentazione del Caso Studio

TELAI IN C.A. NELLE DUE DIREZIONI
SENZA CONNESSIONI
TRASVERSALI

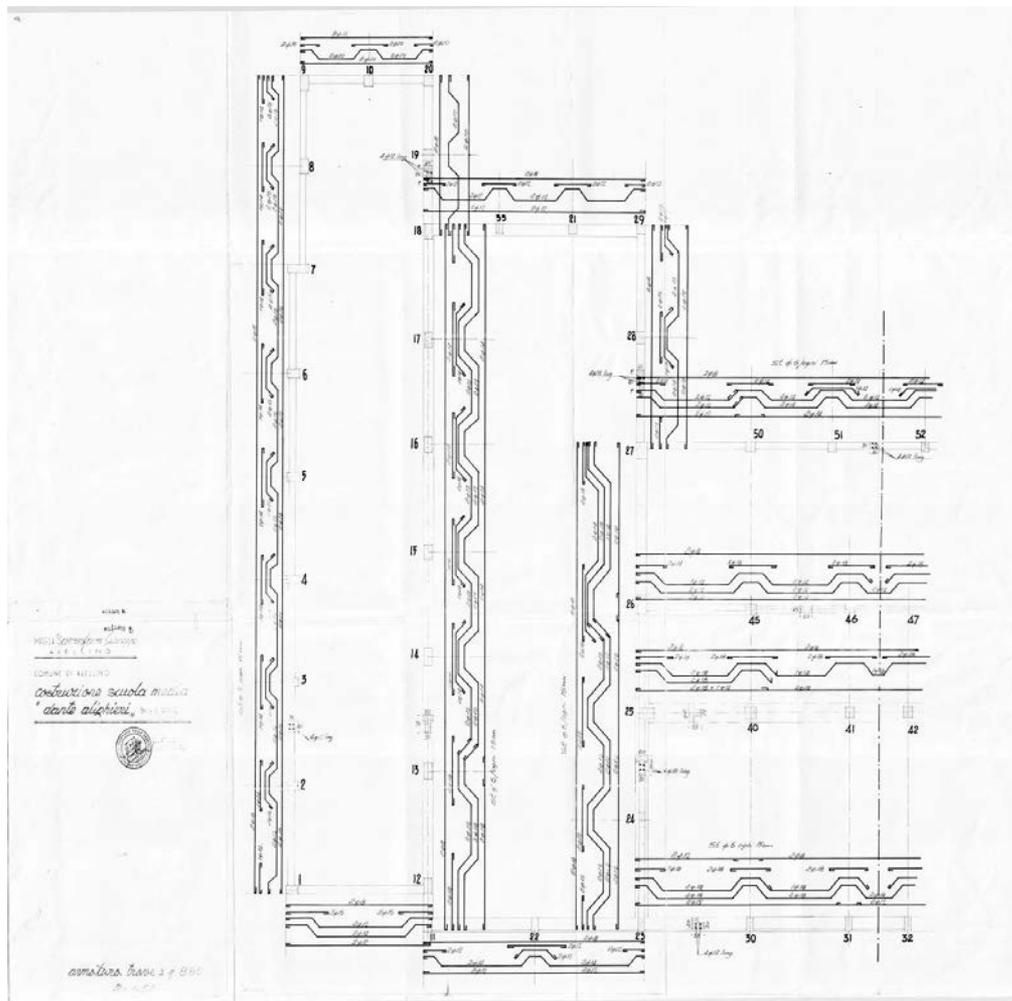
QUATTRO IMPALCATI DI CIRCA 1500
mq (altezza interpiano 3.6 m)

76 PILASTRI PER PIANO DI
DIMENSIONI VARIABILI

FONDAZIONI A NASTRO A TRAVI
ROVESCE

PRIMO LIVELLO PARZIALMENTE
INTERRATO con pareti in c.a. lungo
l'intero perimetro dall'estradosso
della fondazione al piano
campagna

SOLAI CON TRAVETTI PREFABBRICATI



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento

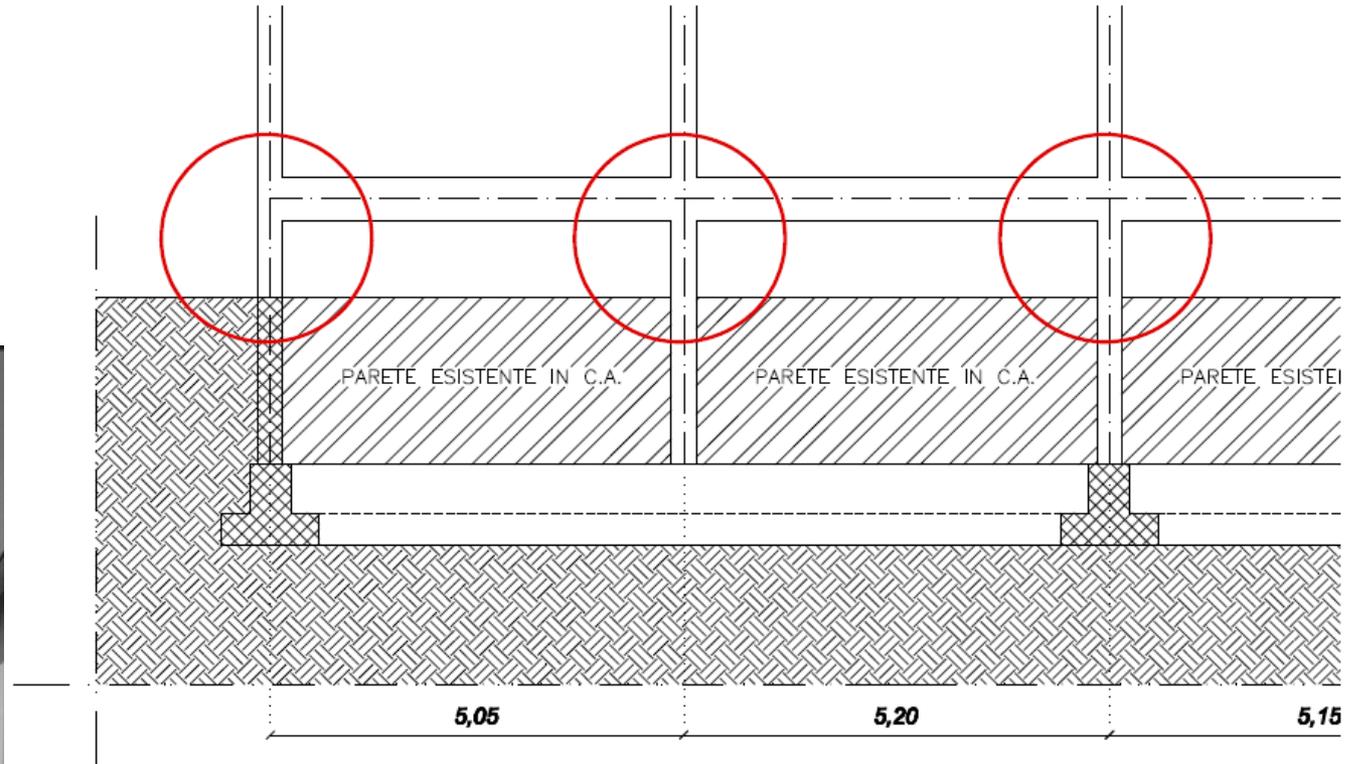


Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

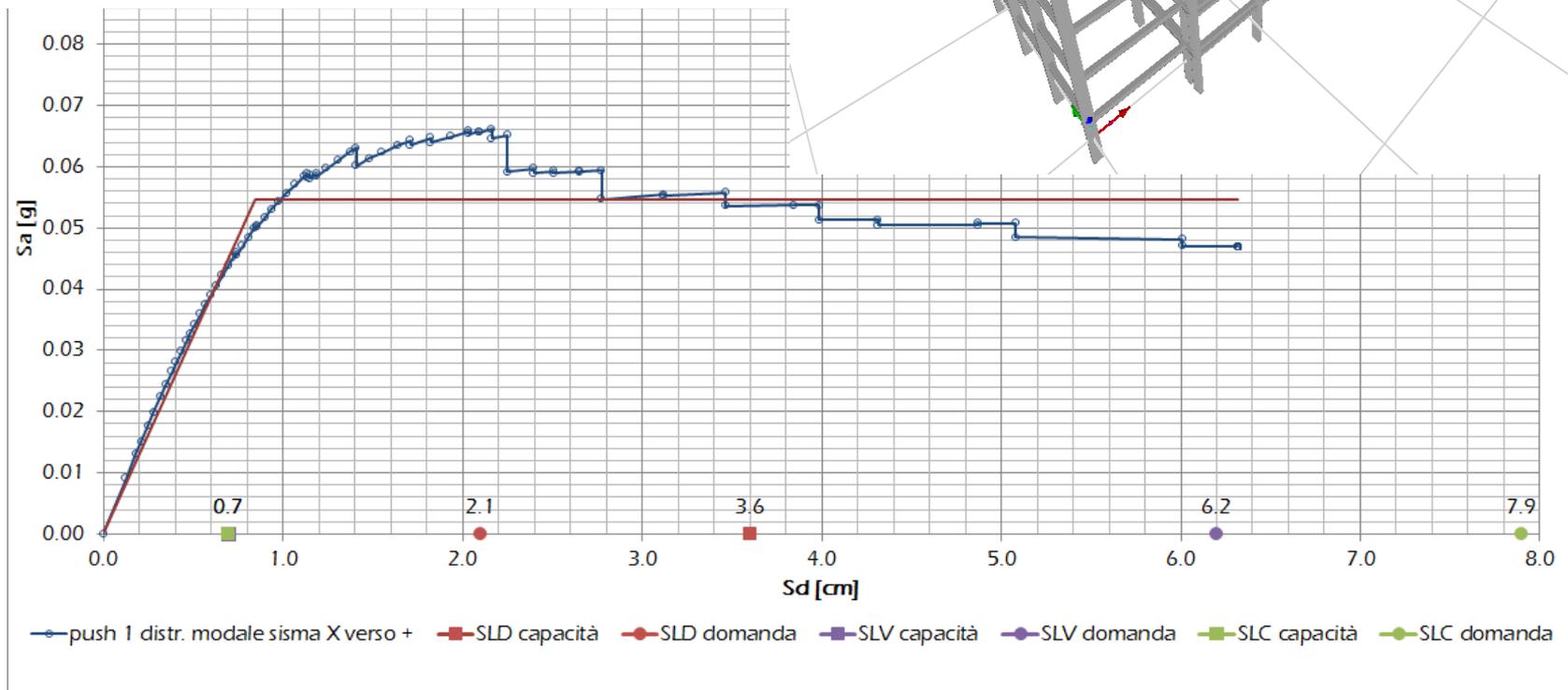
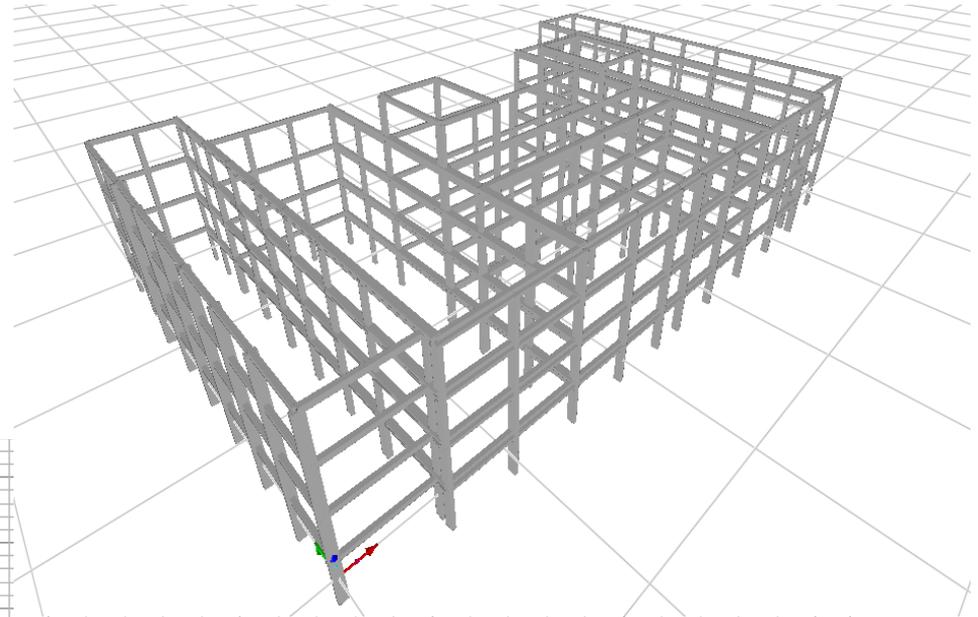
IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici

SINTESI DEI RISULTATI

–Per gli stati limite SLO e SLD la struttura può ritenersi sufficientemente idonea

–Per gli stati limite SLV e SLC, in relazione ai meccanismi duttili, la struttura presenta carenze poco consistenti

–Per gli stati limite SLV e SLC, in relazione ai meccanismi fragili, la struttura presenta carenze molto elevate



IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici

Metodo di progetto

LA STRUTTURA ATTUALE HA CAPACITÀ DI SPOSTAMENTO MOLTO LIMITATA, DELL'ORDINE DI 6÷7 mm

SI RITIENE CHE PROGETTARE IL SISTEMA DI CONTROVENTI CON TALE SPOSTAMENTO NON SIA L'IDEALE DAL PUNTO DI VISTA ECONOMICO

PERTANTO SI CONSIDERA INDISPENSABILE ADEGUARE CON INCAMICIATURE IN ACCIAIO UN CERTO NUMERO DI PILASTRI

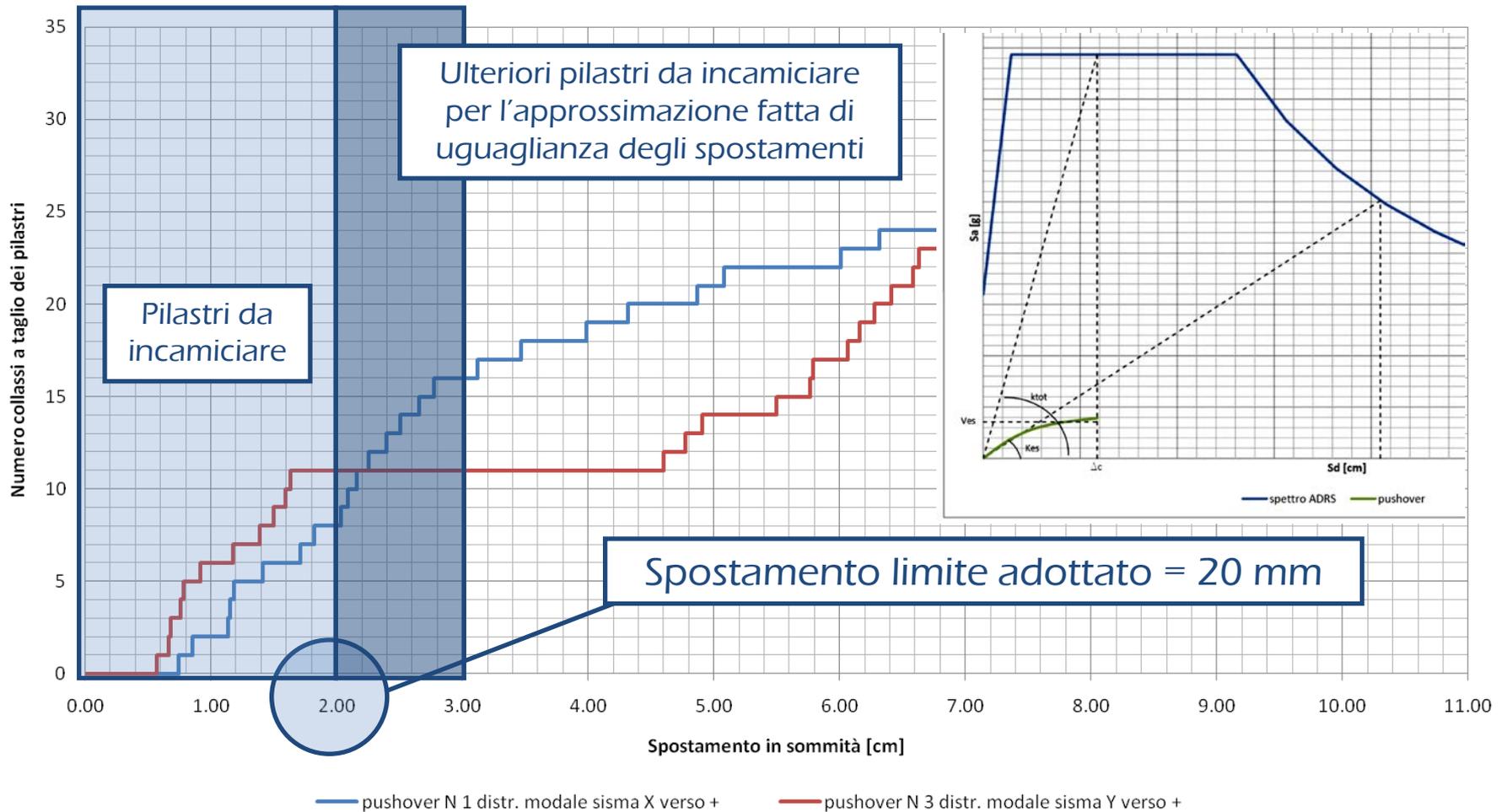
IN TAL MODO SI VUOLE RAGGIUNGERE UN TARGET DI ALMENO 15÷20 mm



IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici

Metodo di progetto

Andamento dei collassi a taglio nei pilastri nell'analisi pushover



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



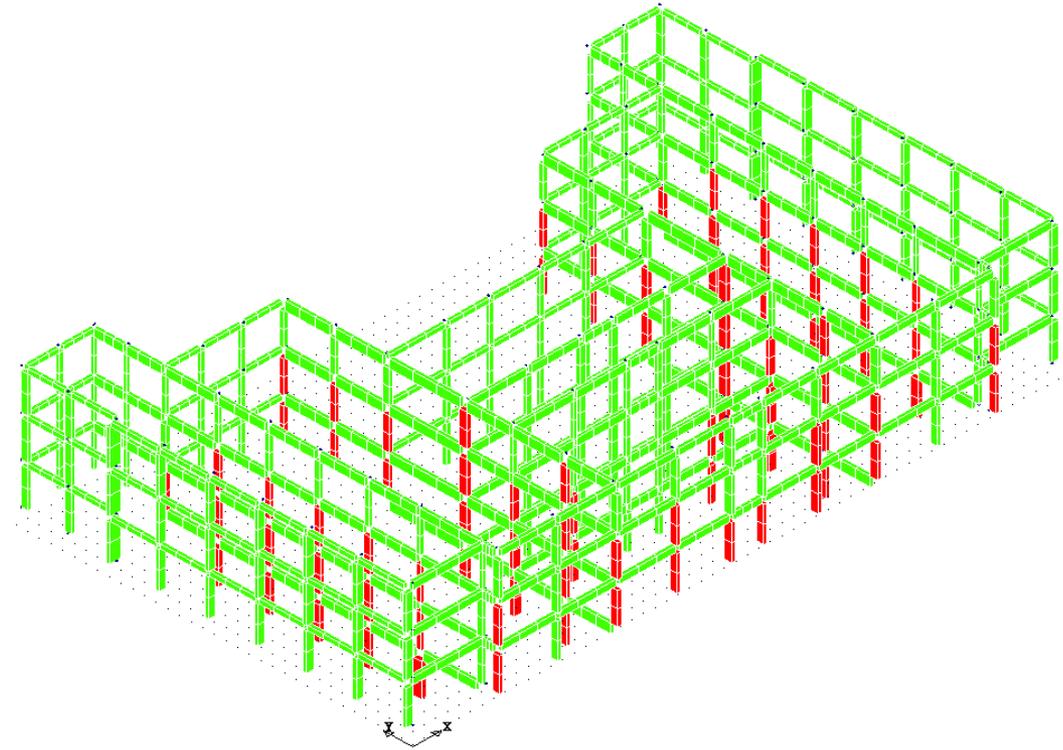
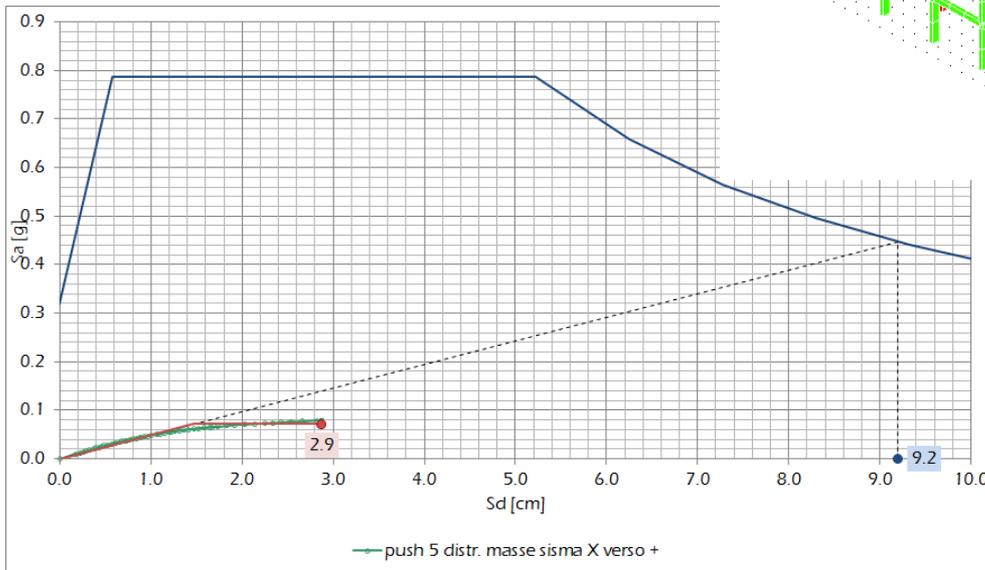
Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici

Metodo di progetto



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



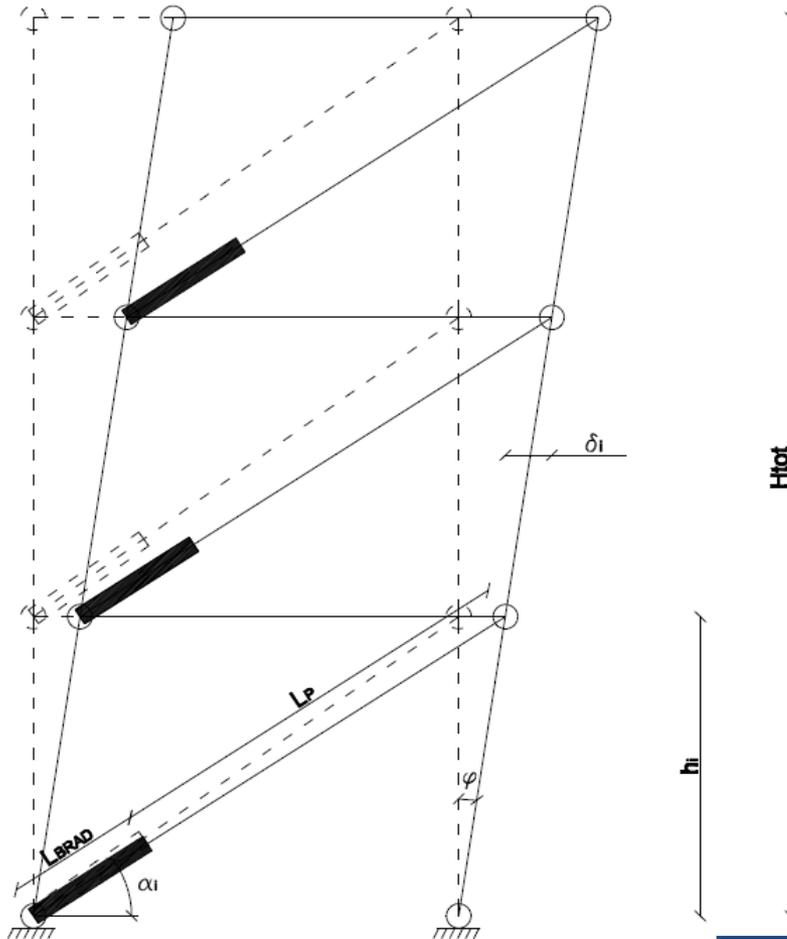
Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici

Metodo di progetto dei controventi



SCHEMATIZZAZIONE DELLA RIGIDEZZA K_b DEI CONTROVENTI

La rigidezza K_i è composta da due aliquote, quella del dissipatore BRAD, $K_{BRAD,i}$ e quella del profilo di acciaio, $K_{p,i}$

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{K_{BRAD,i}} + \frac{1}{K_{p,i}}} = \frac{K_{BRAD,i} EA_{p,i}}{EA_{p,i} + L_{p,i} K_{BRAD,i}}$$

Essendo $V_b = K_b \delta_n$ dove V_b è il taglio alla base assorbito dai controventi e δ_n lo spostamento totale dell'ultimo impalcato:

$$V_b = \sum F_i = \sum K_i \delta_i \cos^2 \alpha_i = \sum K_i \phi h_i \cos^2 \alpha_i = K_b \delta_n = K_b \phi H_{tot}$$



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici

Metodo di progetto dei controventi

Se si fa l'ipotesi che le campate siano tutte della stessa lunghezza, che si usi lo stesso tipo di controvento ad ogni piano e per ogni telaio e che il numero dei controventi sia lo stesso ad ogni piano, allora, essendo per la struttura in esame uguali anche le altezze di interpiano, ne deriva che i singoli controventi sono tutti uguali tra di loro in termini di rigidezza. Se si indica con n il numero complessivo dei controventi per ogni impalcato e con n_p in numero degli impalcati allora:

$$n_p n \frac{K_{BRAD} EA_p}{EA_p + L_p K_{BRAD}} h \cos^2 \alpha = K_b H_{tot}$$

Considerando che $H_{tot} = n_p h$ si ottiene in definitiva:

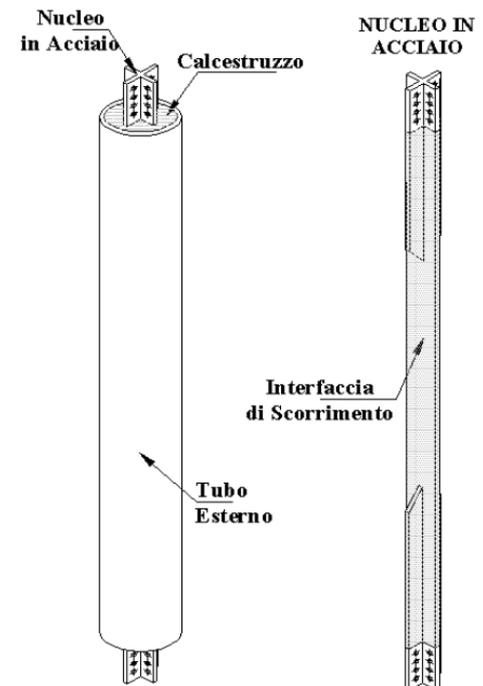
$$K_{BRAD} = \frac{\frac{K_b}{n \cos^2 \alpha} EA_p}{EA_p - \frac{K_b}{n \cos^2 \alpha} L_p}$$

Per quanto riguarda il lo sforzo normale ultimo, N_y , con cui dimensionare il controvento si ha che:

$$V_b + V_{es} = V_{tot} = \frac{M \cdot S_{\alpha, max}}{q} \Rightarrow V_b = \frac{M \cdot S_{\alpha, max}}{q} - V_{es}$$

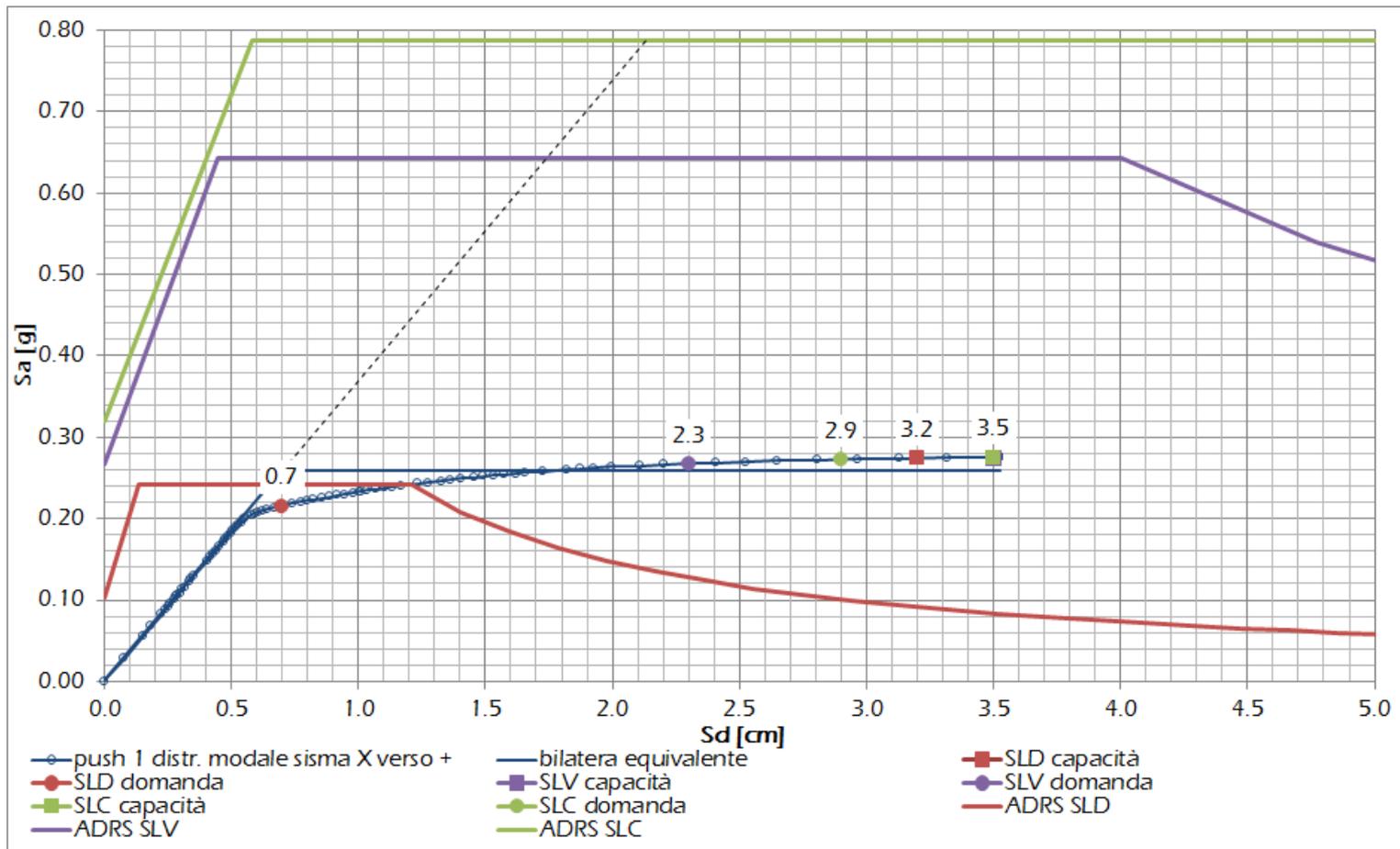
$$V_b = \sum N_{y,i} \cos \alpha_i = n_p n N_y \cos \alpha = n_{tot} N_y \cos \alpha$$

$$N_y = \frac{\frac{M \cdot S_{\alpha, max}}{q} - V_{es}}{n_{tot} \cos \alpha}$$



IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici

Metodo di progetto dei controventi



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



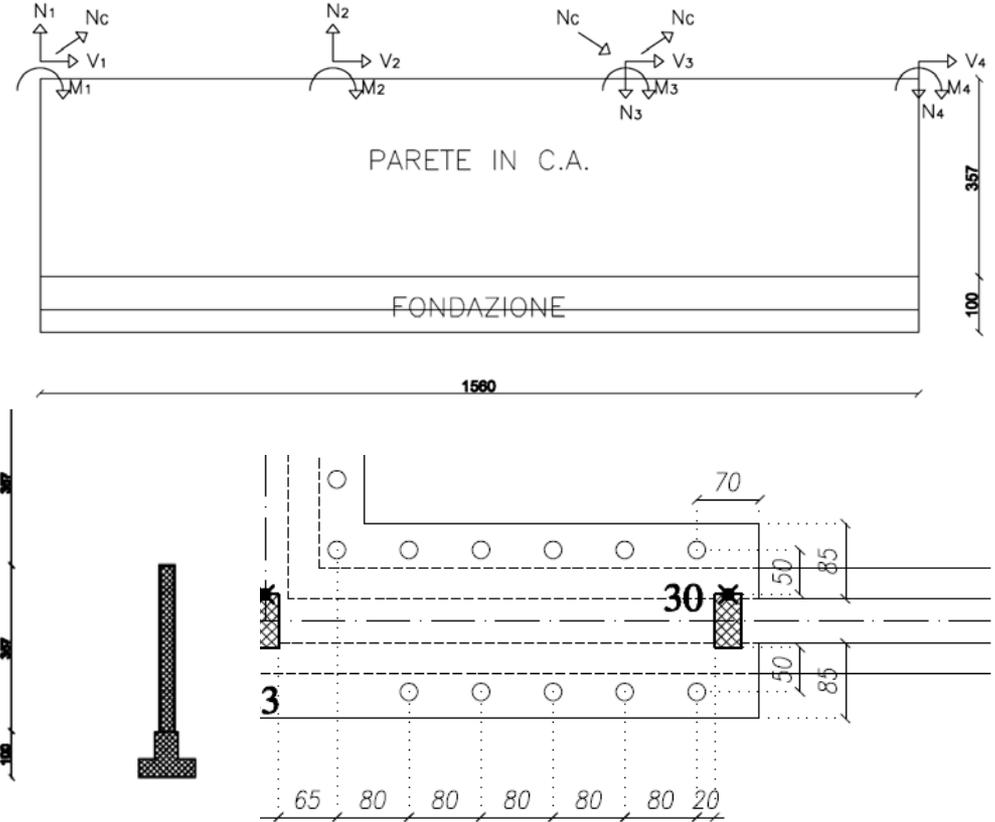
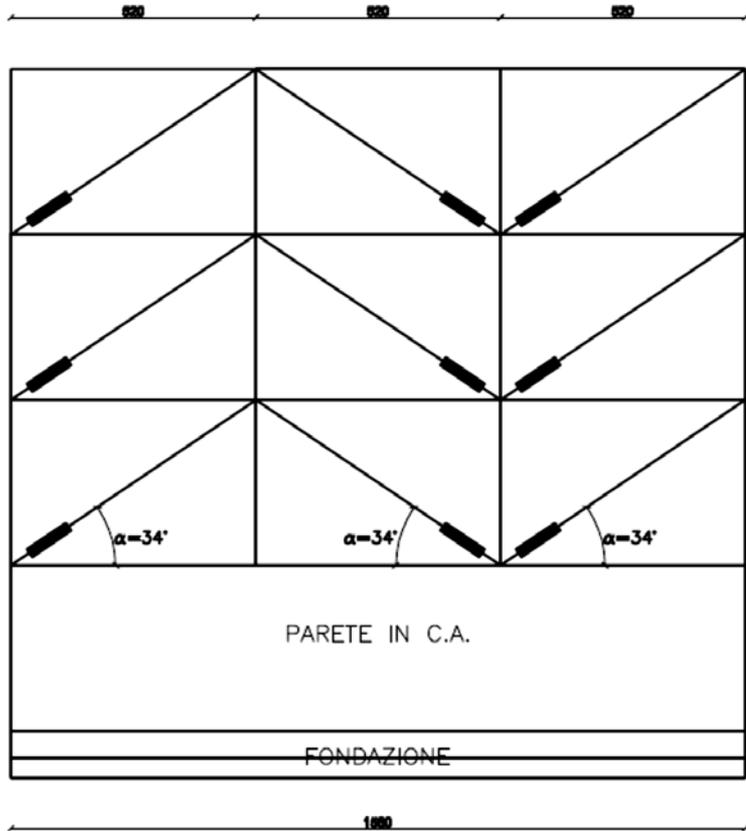
Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici

Metodo di progetto



I micropali assorbono solo le forze sismiche. pertanto sono stati dimensionati in base al momento ribaltante agente all'estradosso della fondazione esistente.



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici

Metodo di progetto

Si intende realizzare micropali di tipo “radice”

il dimensionamento viene eseguito secondo le indicazioni fornite da *Viggiani*, con la teoria di Bustamante e Doix.

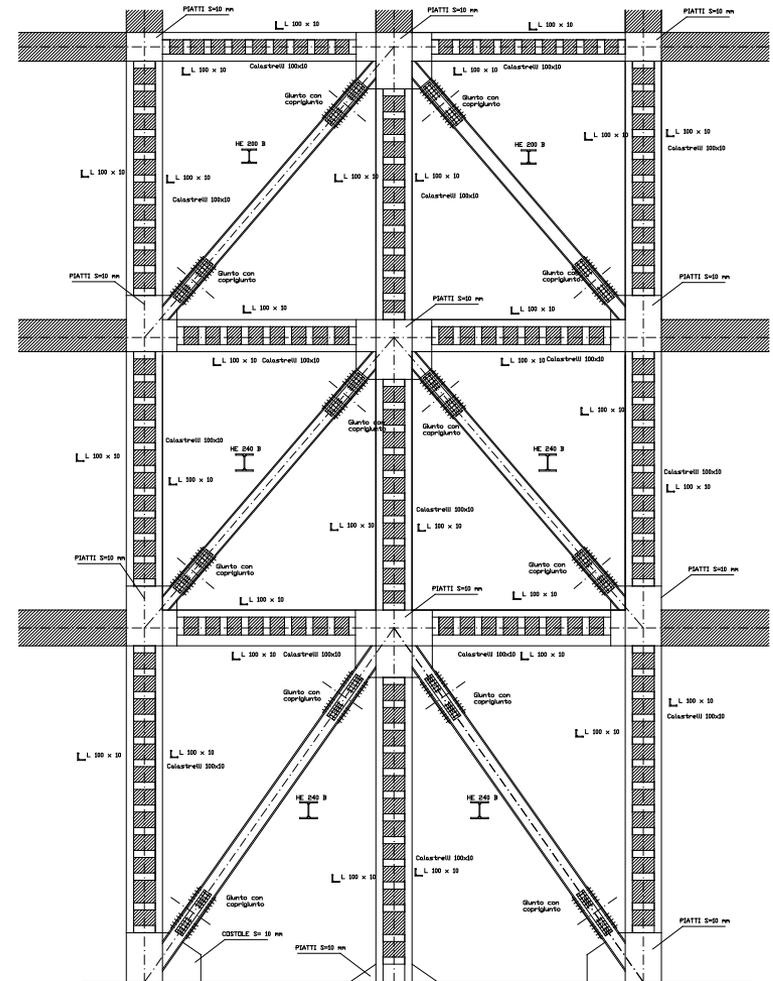
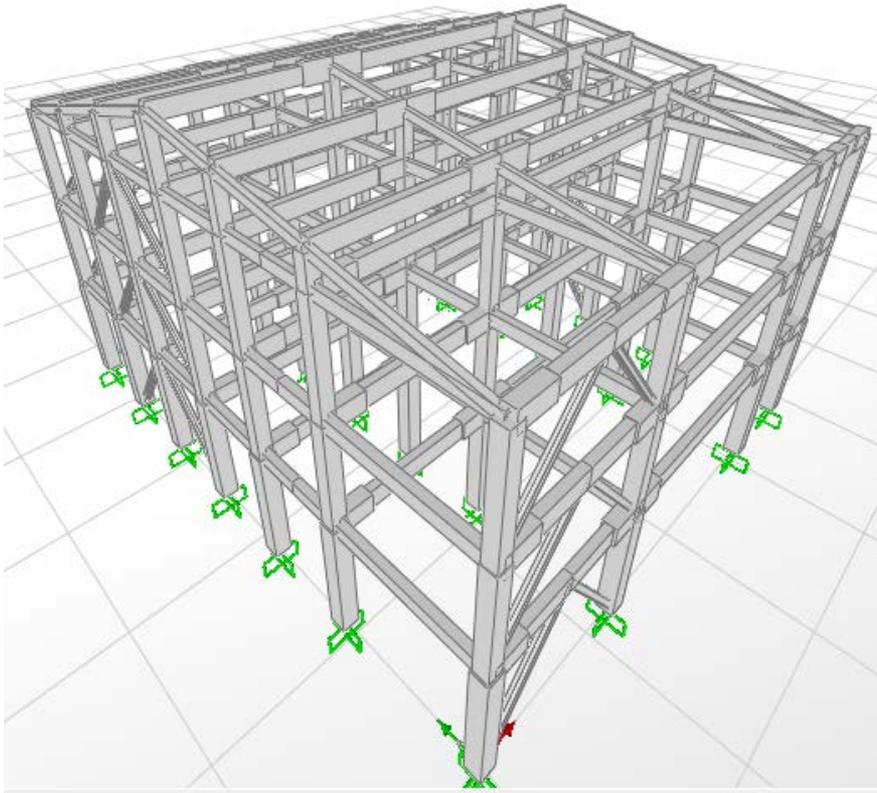
$$Q_{lim} = \pi \cdot \alpha \cdot d \cdot L_s \cdot s$$

d	20	cm
α	1.1	
L_s	12	m
s	0.08	Mpa
Q_{lim}	664	kN
$Q_{R,d}$	491	kN

massimo sforzo trasmesso dalla
sovrastuttura = 460kN

IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici

Controventi Tradizionali



CORPO 2 - CONTROVENTO CAMPATE 6-5 e 5-4



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici

Controventi Tradizionali – NTC 2008 (strutture controventate in acciaio)

Le norme definiscono un coefficiente Ω come l'inverso del tasso di lavoro delle diagonali, ovvero come la sovraresistenza della singola diagonale rispetto alla soglia di plasticizzazione della stessa:

$$\Omega_j = \frac{N_{pl,Rd,i}}{N_{Ed,i}}$$

Per avere un comportamento dissipativo uniforme le NTC 2008 impongono che la massima variazione tra i coefficienti Ω sia contenuta entro il 25%.

Inoltre, le diagonali devono soddisfare i requisiti di snellezza stabiliti in NTC 2008:

$$\begin{array}{l} \text{controventi - X} \quad 1.3 < \bar{\lambda} \leq 2.0 \\ \text{controventi - V} \quad \bar{\lambda} \leq 2.0 \end{array}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \quad \text{con} \quad \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Controventi a X: si deve considerare la sola diagonale tesa

Controventi a V: si considera anche il contributo della diagonale compressa rispettando ulteriori verifiche di stabilità

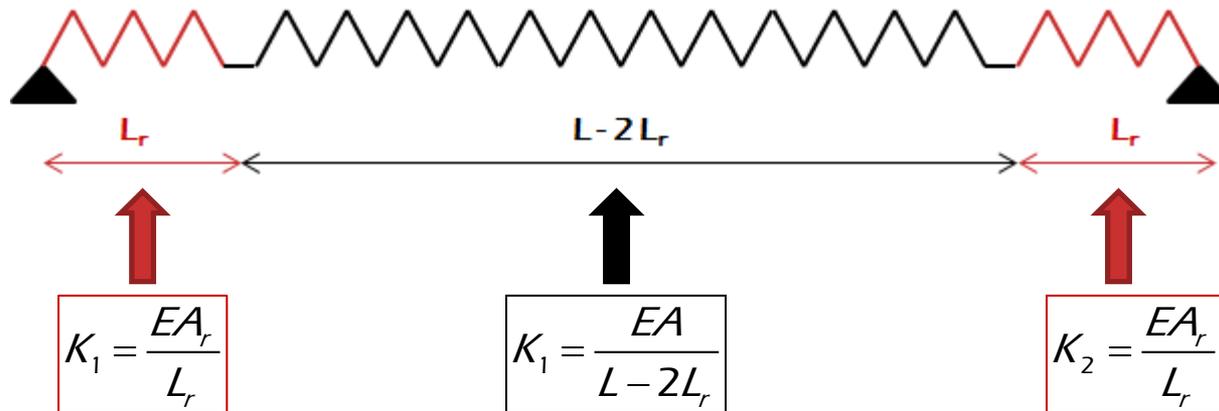


IRRIGIDIMENTO – Controventi metallici

Controventi Tradizionali



Il modello della diagonale è costituito da tre molle in serie caratterizzate da diversa rigidezza



Rigidezza Diagonale

$$K = \frac{1}{\frac{2}{K_1} + \frac{1}{K_2}}$$



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento

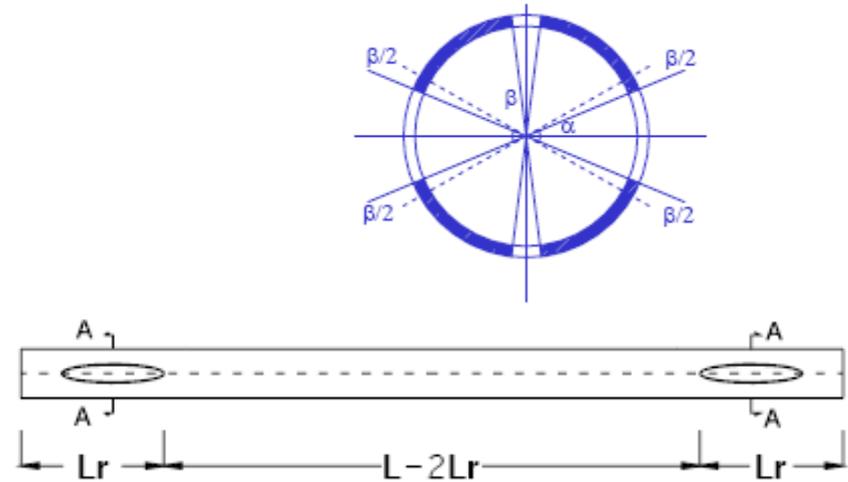
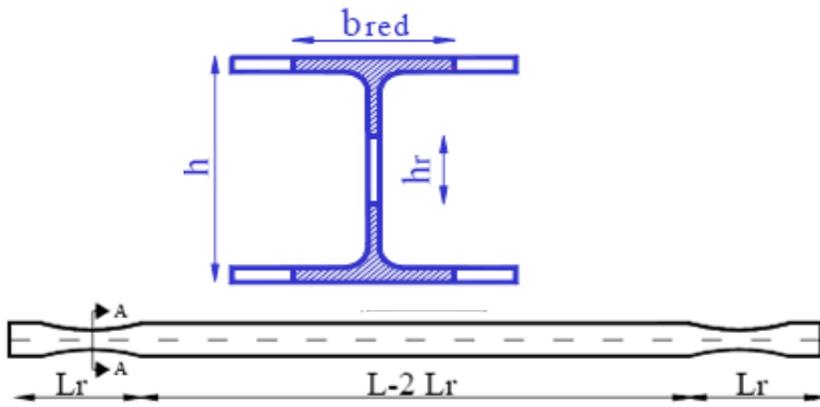


Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

Controventi Tradizionali



RICERCA DEL COMPROMESSO TRA RIGIDEZZA E RESISTENZA



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

Controventi Tradizionali



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento

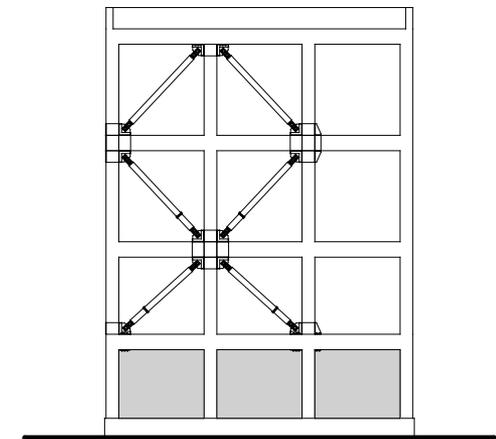
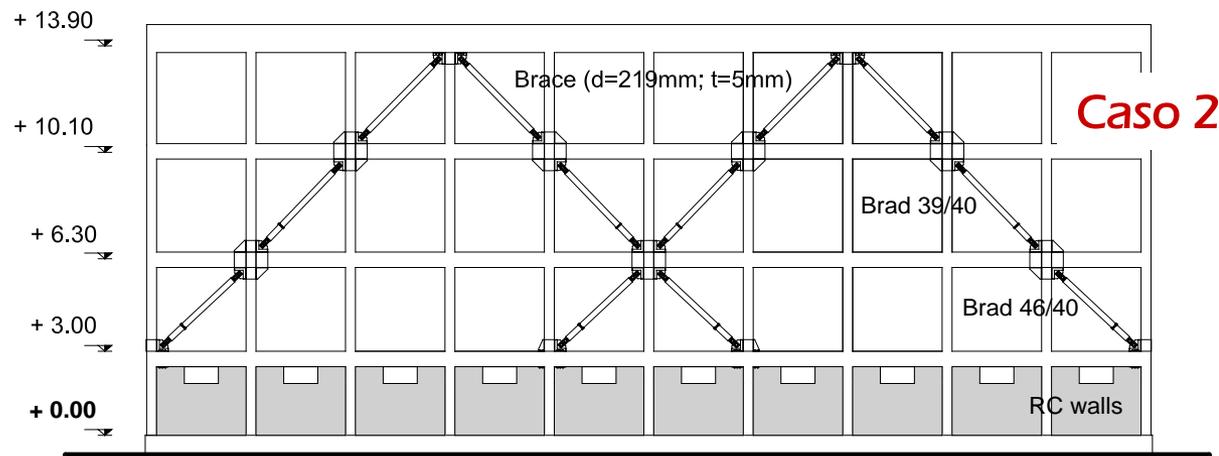
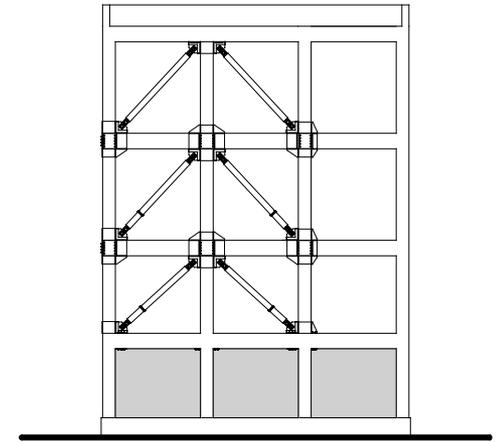
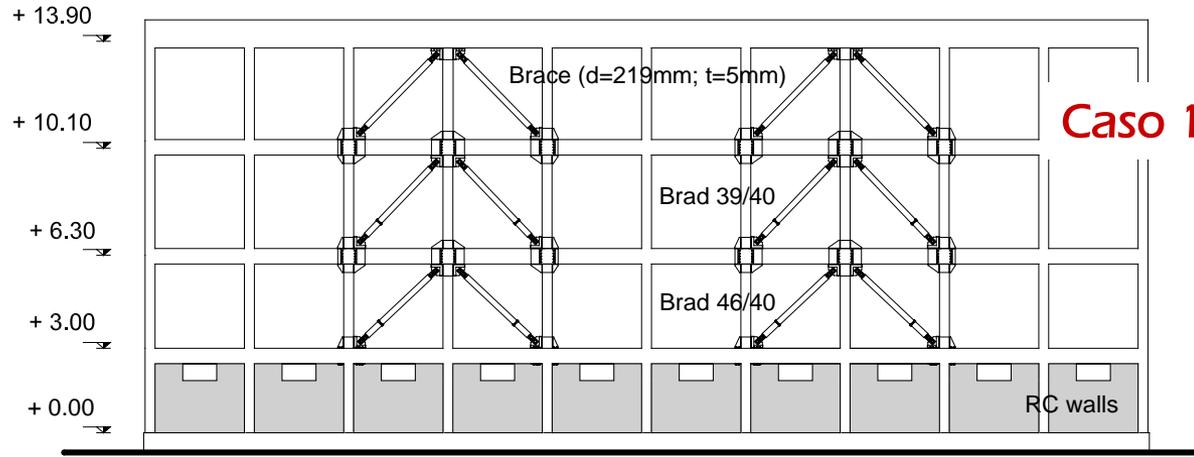


Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

Problematiche Irrigidimento sulle fondazioni e sugli elementi pre-esistenti



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento

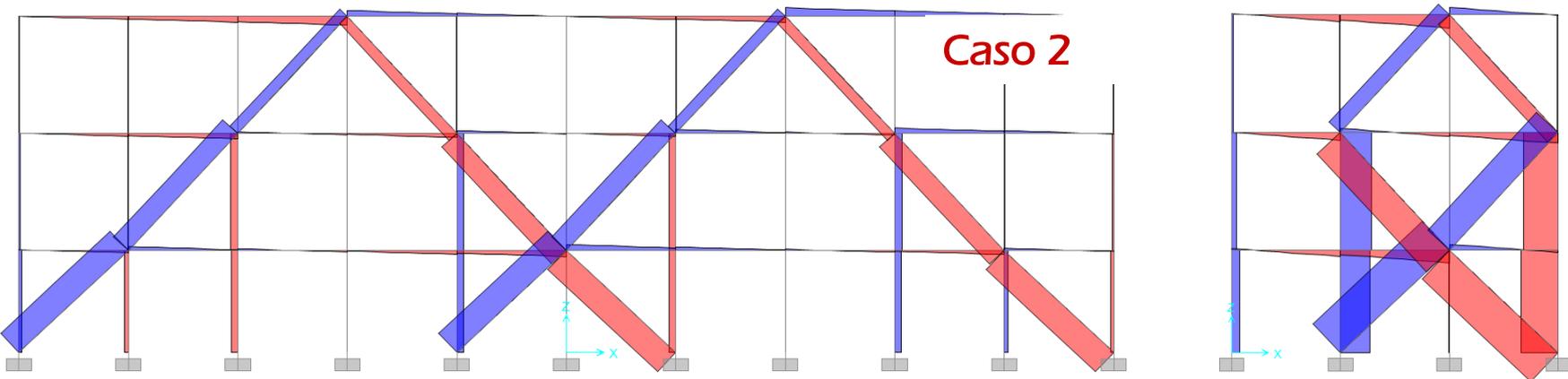
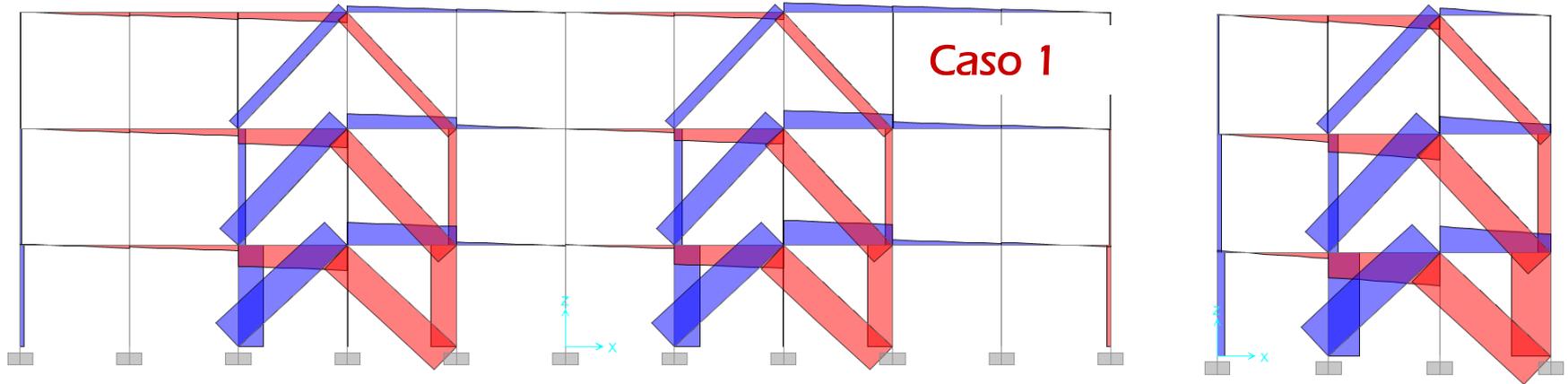


Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

Problematiche Irrigidimento sulle fondazioni e sugli elementi pre-esistenti



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



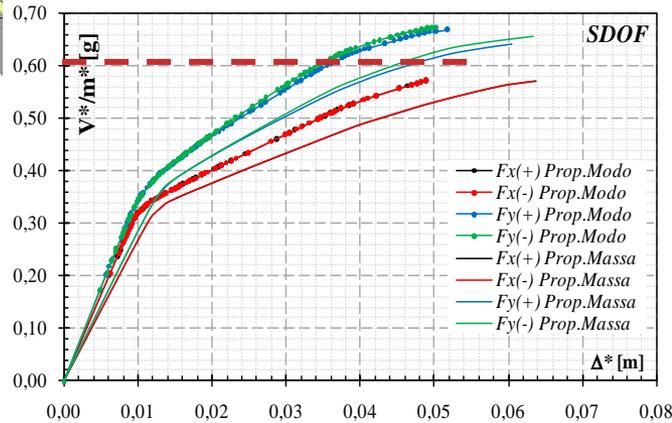
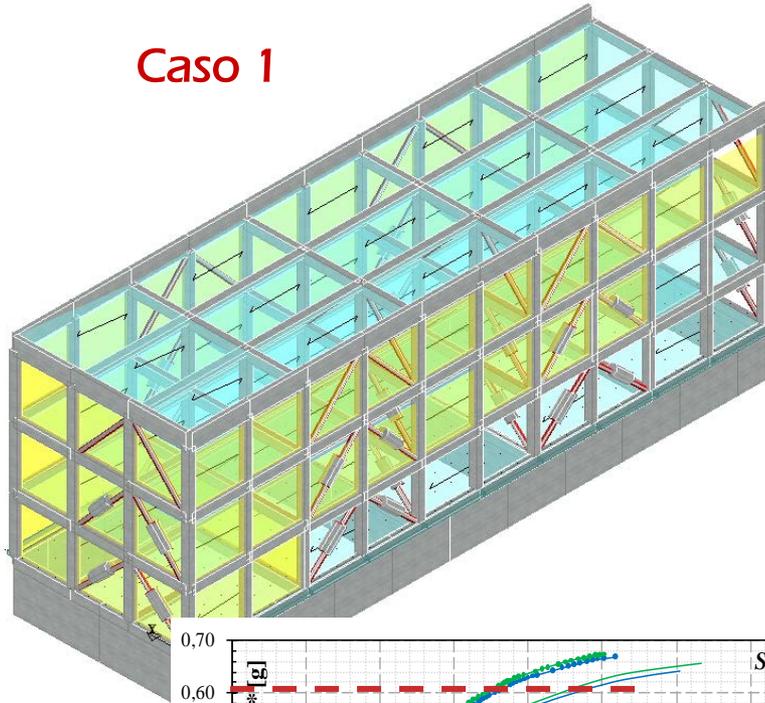
Camicie in acciaio



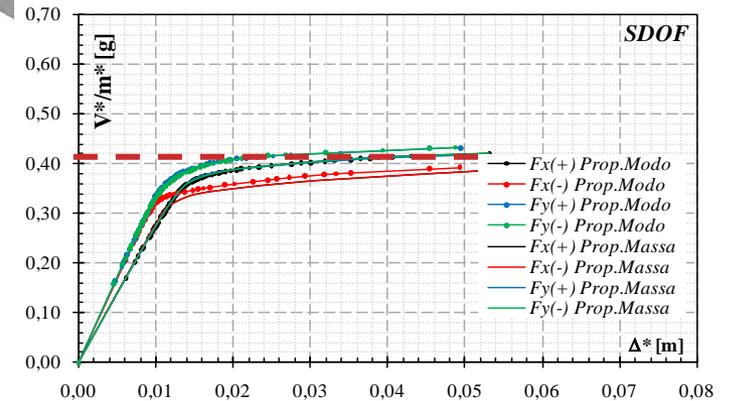
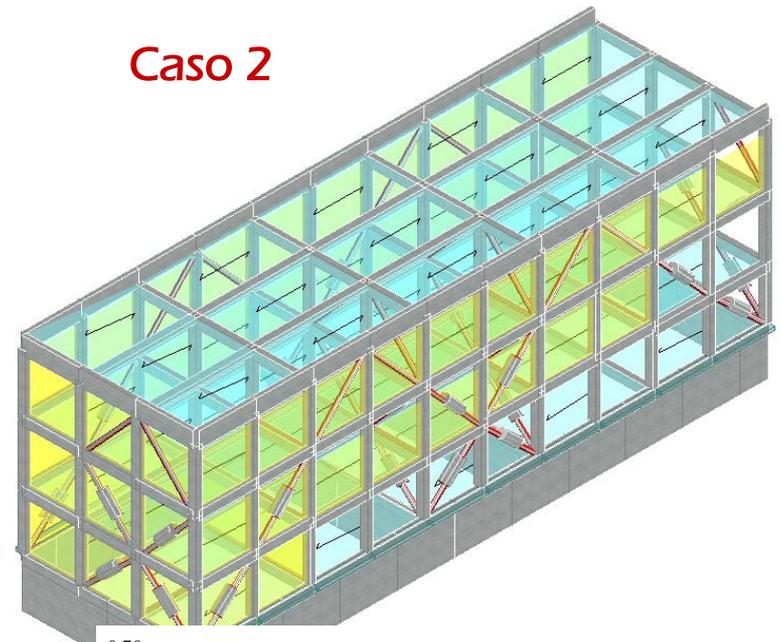
Camicie in c.a.

Problematiche Irrigidimento sulle fondazioni e sugli elementi pre-esistenti

Caso 1



Caso 2



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

CAMICIE IN ACCIAIO



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



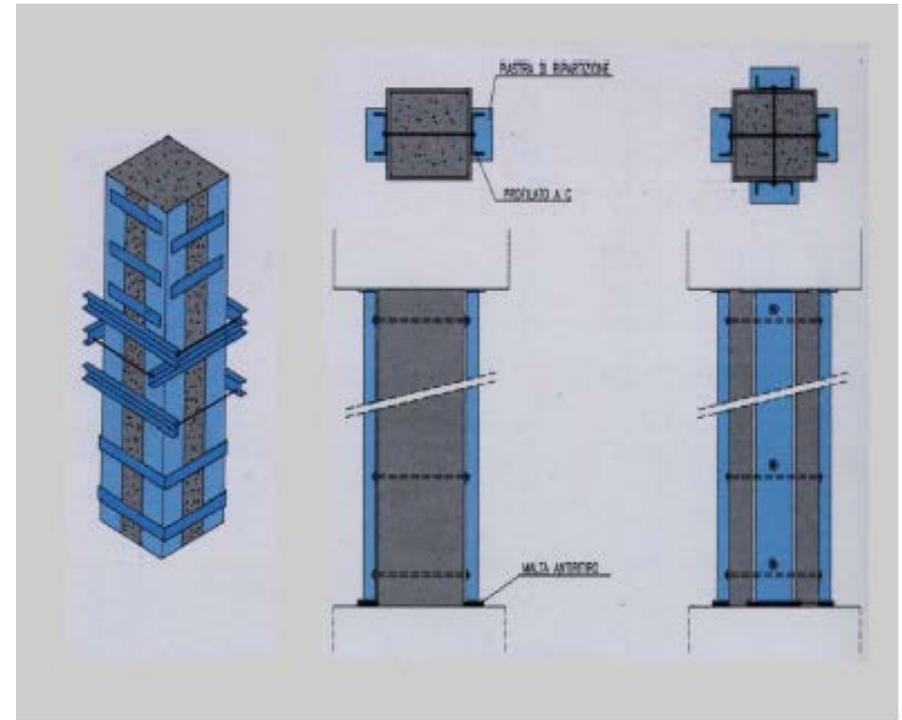
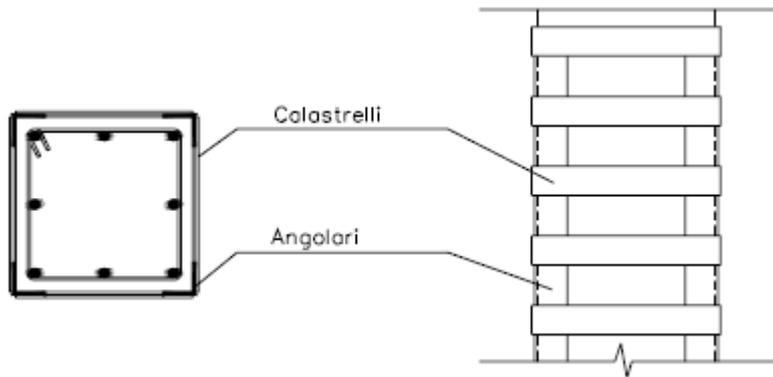
Camicie in acciaio



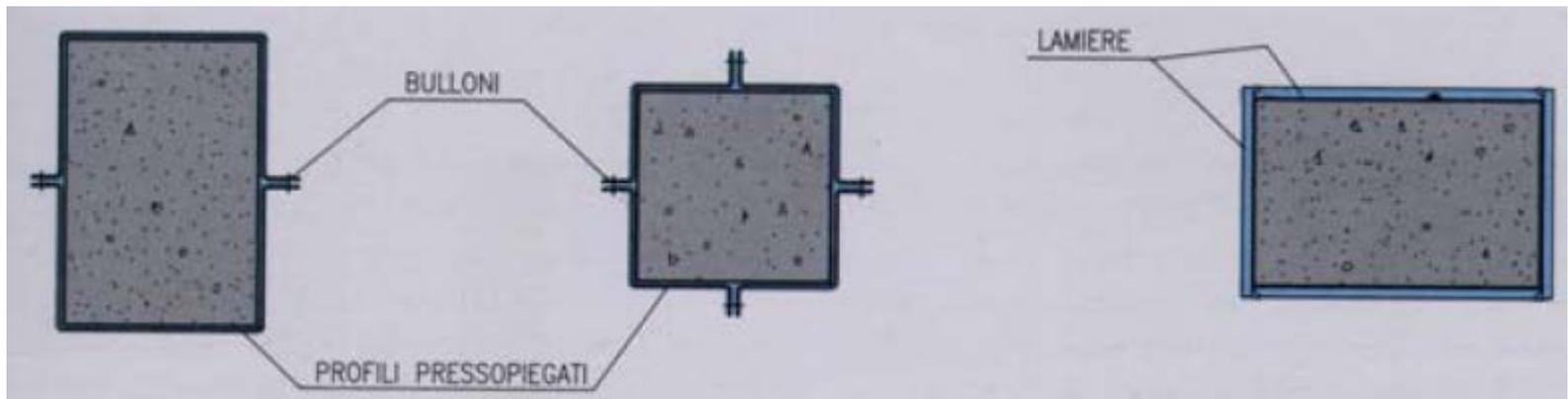
Camicie in c.a.

CAMICIE IN ACCIAIO

Angolari e Calastrelli



Incamiciatura continua



CAMICIE IN ACCIAIO

Funzione di Confinamento

$$f_{cc} = f_c \left[1 + 3.7 \left(\frac{0.5 \cdot \alpha_n \cdot \alpha_s \cdot \rho_s \cdot f_y}{f_c} \right)^{0.86} \right]$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + 0.5 \frac{0.5 \cdot \alpha_n \cdot \alpha_s \cdot \rho_s \cdot f_y}{f_{cc}}$$

ρ_s = rapporto volumetrico di armatura trasversale

Camicie continue

Calastrelli o bande discontinue

$$\rho_s = \frac{2(b+h)t_s}{b \cdot h}$$

$$\rho_s = \frac{2 \cdot h_s t_s (b+h)}{b \cdot h \cdot s}$$

s = passo delle bande;

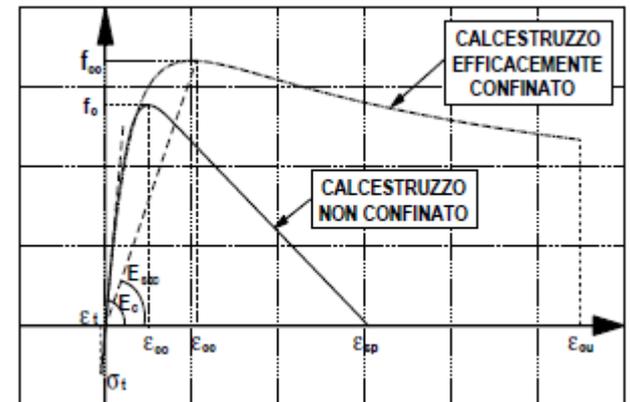
h_s = altezza delle bande;

t_s = spessore delle bande.

$$\alpha_n = 1 - \frac{(b-2R)^2 + (h-2R)^2}{3bh}$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s-h_s}{2b} \right) \left(1 - \frac{s-h_s}{2h} \right)$$

Sono i fattori di efficienza del confinamento nel piano della sezione (orizzontale) e lungo l'elemento (verticale)



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



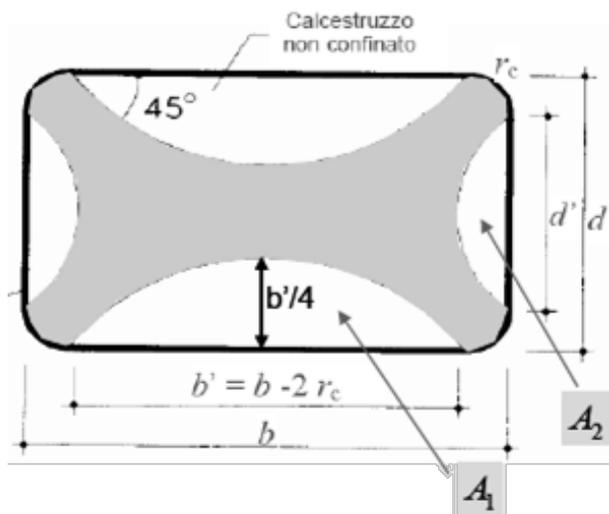
Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

CAMICIE IN ACCIAIO

Funzione di Confinamento – Confinamento Orizzontale



$$\alpha_n = 1 - \frac{(b - 2R)^2 + (h - 2R)^2}{3bh}$$

R = raggio arrotondamento degli spigoli della sezione,
b e h = dimensioni della sezione

$$A_1 = \frac{2}{3} b' \frac{b'}{4} = \frac{1}{6} (b')^2$$

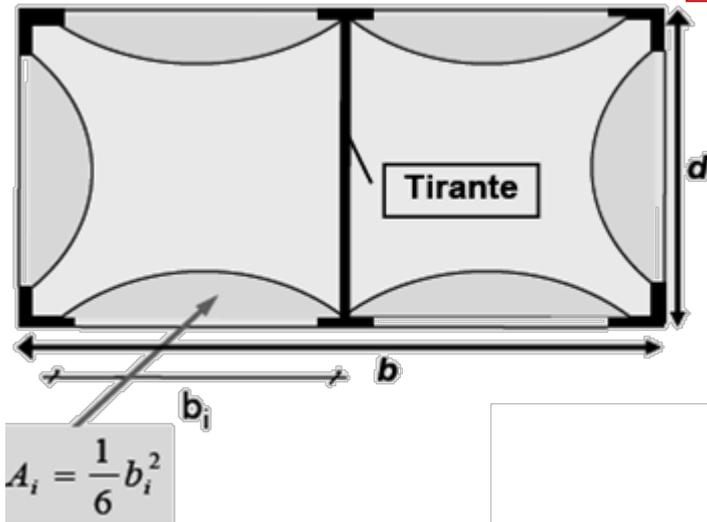
$$A_2 = \frac{2}{3} d' \frac{d'}{4} = \frac{1}{6} (d')^2$$

$$A_e = A - 2A_1 - 2A_2 = bd - \frac{1}{3}(b')^2 - \frac{1}{3}(d')^2 = bd - \frac{(d')^2 + (b')^2}{3}$$

$$\alpha_n = \frac{A_e}{A} = 1 - \frac{(d')^2 + (b')^2}{3bd}$$

L'effetto del confinamento non può essere portato in conto per sezioni in cui $b/d > 2$ (LIMITAZIONE FRP)

Con angolari e calastrelli si può superare tale limite inserendo un tirante intermedio, in tal caso si ha:



$$A_e = A - \sum A_i = A - \frac{\sum b_i^2}{6}$$

$$\alpha_n = \frac{A_e}{A} = 1 - \frac{\sum b_i^2}{6bd}$$



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



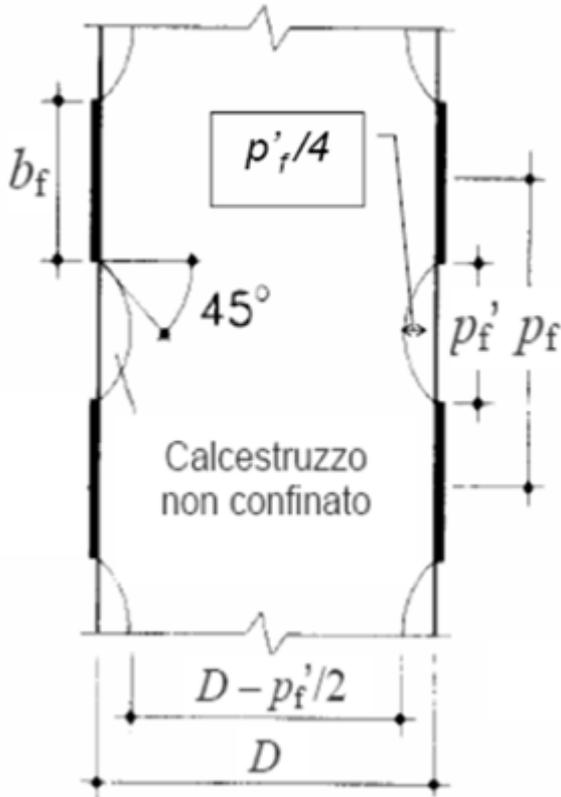
Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

CAMICIE IN ACCIAIO

Funzione di Confinamento – Confinamento Verticale



$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s - h_s}{2b}\right) \left(1 - \frac{s - h_s}{2h}\right)$$

h_s = altezza delle bande,

s = passo delle bande,

(se la camicia è continua si pone $h_s = s$)

$$A_e = \left(b - \frac{p'_f}{2}\right) \left(h - \frac{p'_f}{2}\right)$$

$$\alpha_s = \frac{A_e}{A} = \left(b - \frac{p'_f}{2}\right) \left(h - \frac{p'_f}{2}\right) \frac{1}{bh} = \left(1 - \frac{p'_f}{2b}\right) \left(1 - \frac{p'_f}{2h}\right)$$



CAMICIE IN ACCIAIO

Funzione di Confinamento

Si hanno incrementi di resistenza e duttilità dovuti al miglioramento delle caratteristiche del calcestruzzo:

$$f_{cc} = f_c \left[1 + 3.7 \left(\frac{0.5 \cdot \alpha_n \cdot \alpha_s \cdot \rho_s \cdot f_y}{f_c} \right)^{0.86} \right]$$

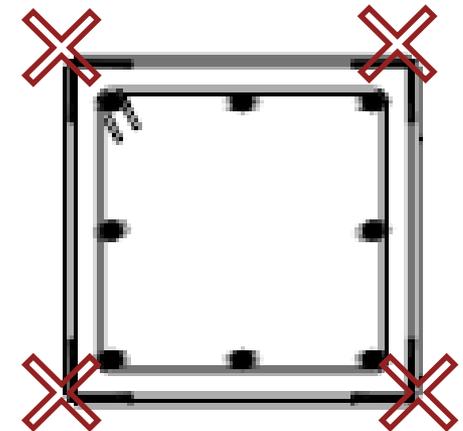
$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + 0.5 \frac{0.5 \cdot \alpha_n \cdot \alpha_s \cdot \rho_s \cdot f_y}{f_{cc}}$$

$$N_{RCC,d} = \psi \cdot b \cdot y_c \cdot f_{ccd} + A_s \cdot f_{yd}$$

$$M_{UGCC,d} = \psi \cdot b \cdot y_c \cdot f_{ccd} \cdot \left(\frac{h}{2} - \lambda \cdot y_c \right) + A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(\frac{h}{2} - d_s \right)$$

$$\theta_{c,DL} = \theta_y = \phi_y \frac{L_v}{3} + 0.0013 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_v} \right) + 0.13 \phi_y \frac{d_b f_y}{\sqrt{f_c}}$$

$$\theta_{c,CO} = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.016 \cdot (0.3)^v \left[\frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} f_c \right]^{0.225} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0.35} 25^{\left(\alpha_{ps} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} 1.25^{100 \rho_d}$$



Se non vengono adottati idonei particolari costruttivi (continuità degli angolari tra gli impalcati) non si può portare in conto l'area aggiuntiva rappresentata dall'incamiciatura.

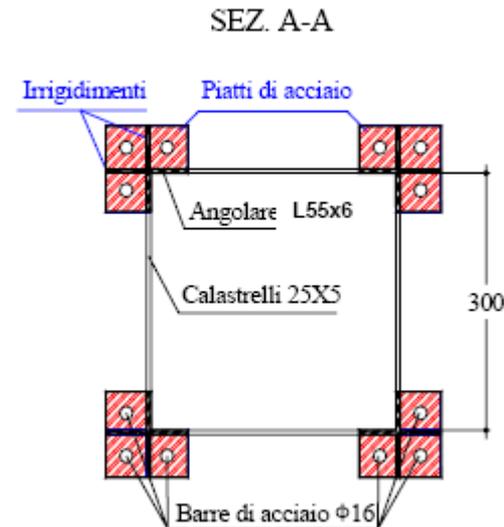
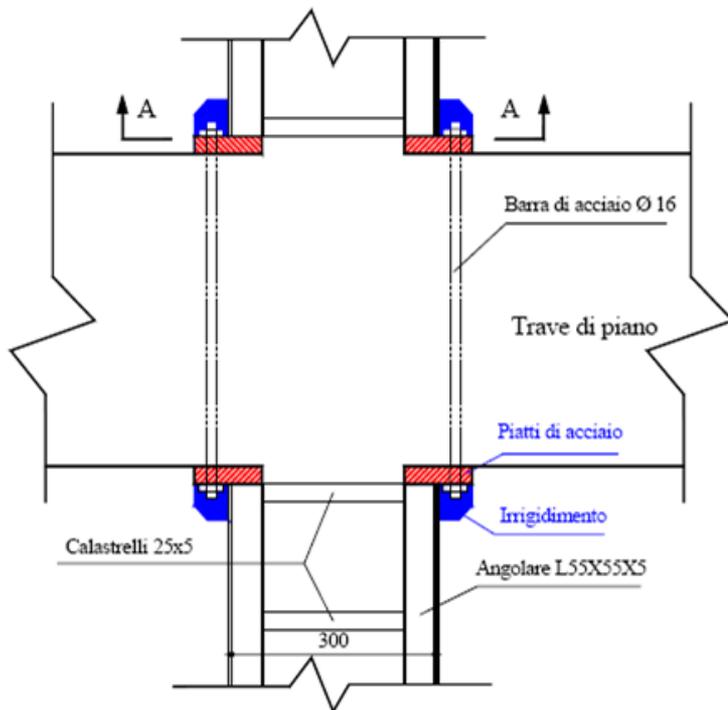


CAMICIE IN ACCIAIO

Continuità degli Angolari

A seconda del dettaglio costruttivo adottato, gli angolari possono essere considerati:

- Con sola funzione di Confinamento
- Reagenti solo a Compressione;
- Reagenti a Trazione e Compressione;



$$f_{y,ang} \cdot A_{ang} = f_{y,barre} \cdot A_{barre}$$



$$A_{barre} = \frac{A_{ang} \cdot f_{y,ang}}{f_{y,barre}}$$

Esempio numerico

$$f_{y,ang} = 275 \text{ MPa};$$

$$f_{y,barre} = 450 \text{ MPa};$$

$$A_{ang} = 6.31 \text{ cm}^2$$

$$A_{barre} = \frac{A_{ang} \cdot f_{y,ang} / \gamma_{M0}}{f_{y,barre} / \gamma_s} = \frac{631 \cdot 275 / 1.05}{450 / 1.15} = 4.22 \text{ cm}^2 \Rightarrow 3\phi 16$$



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



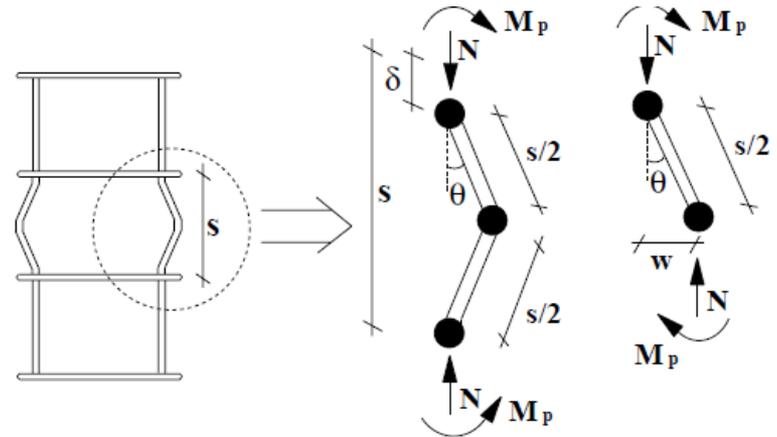
Camicie in c.a.

CAMICIE IN ACCIAIO

Instabilità degli angolari a Compressione

Se si vuole considerare la presenza degli angolari anche a compressione occorre impedire che questi si instabilizzino.

A tal fine occorre dimensionare il passo dei calastrelli in modo da evitare tale possibilità.



Snellezza angolare:

$$\lambda = \frac{s_h}{\rho_{\min}}$$

s_h = passo dei calastrelli;

ρ_{\min} = raggio d'inerzia minimo dell'angolare.

$$N_{\max,ang} = A_{ang} \cdot f_{yd}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{s_h^2}$$



$$\frac{N}{N_{cr}} = \frac{s_h^2}{\pi^2 EI_{\min}} \cdot A_{ang} \cdot f_{yd} \leq 0.1$$



$$s_{h,\max}$$

Esempio numerico

Angolare 60x60x8;

$f_{yd} = 261.90 \text{ Mpa};$

$A_{ang} = 9.03 \text{ cm}^2$

$I_{\min} = 29.2 \text{ cm}^4$

$$0.1 = \frac{s_h^2}{\pi^2 EI_{\min}} \cdot A_{ang} \cdot f_{yd}$$



$$s_{h,\max} = 50.6 \text{ cm}$$



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

Calcolo della Resistenza della sezione Rinforzata

Si segue lo stesso principio visto in precedenza per la trave rinforzata a flessione considerando anche l'azione degli angolari compressi.

- Si deve tener conto della sovrapposizione dello **stato deformativo pre-esistente** dovuto ai carichi agenti al momento del rinforzo e delle deformazioni **della sezione rinforzata**.

Le ipotesi sono:

- Conservazione sezioni piane;
- Perfetta aderenza tra angolari e calcestruzzo;
- Calcestruzzo non reagente a trazione;
- Omogeneità e isotropia del calcestruzzo in zona compressa e dell'armatura.



CAMICIE IN ACCIAIO

Calcolo delle deformazioni presenti all'atto del rinforzo

Considerando che all'atto del rinforzo nei pilastri il momento sollecitante è generalmente trascurabile si può considerare la condizione di piccola eccentricità.

Le deformazioni possono essere determinate in campo elastico:

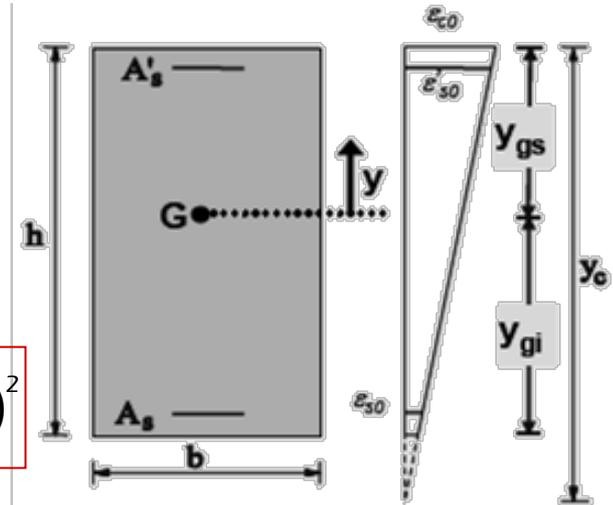
$$S_{id,inf} = \frac{b \cdot h^2}{2} + nA'_s (h - d') + nA_s d'$$

$$A_{id} = b \cdot h + nA'_s + nA_s$$

$$y_{G,inf} = \frac{S_{id,inf}}{A_{id}}$$

$$y_{G,sup} = h - y_{G,inf}$$

$$I_g = \frac{b \cdot h^3}{3} + b \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} - y_{G,inf} \right) + nA'_s (y_{G,sup} - d')^2 + nA_s (y_{G,inf} - d')^2$$



$$\sigma = \frac{N_0}{A} + \frac{M_0}{I_g} y$$

σ_c
 σ'_s
 σ_s



$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c}$$

$$\sigma'_s = \frac{\sigma'_s}{E_s}$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma_s}{E_s}$$



CAMICIE IN ACCIAIO

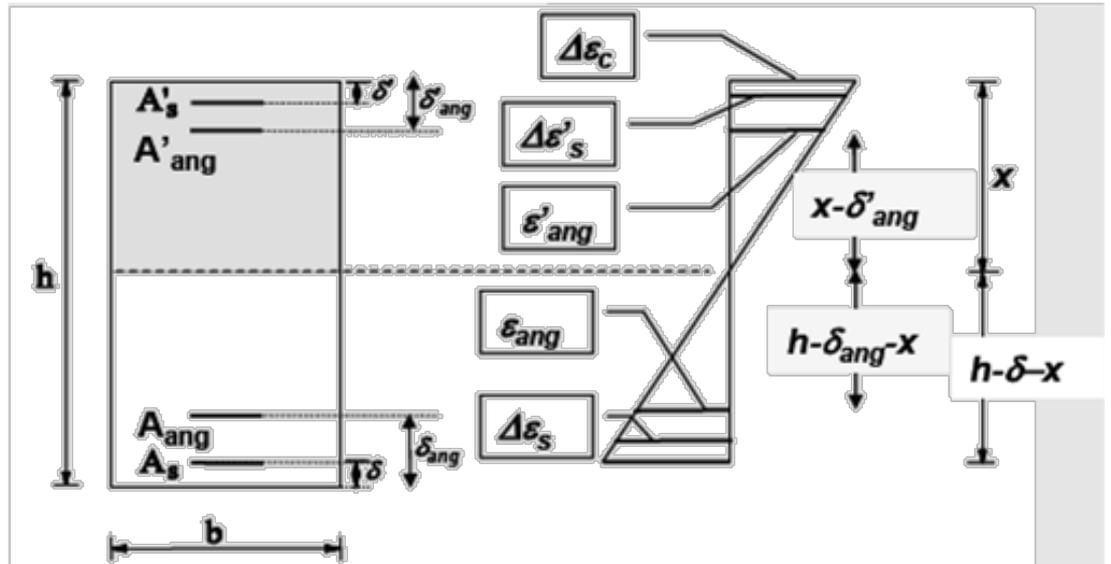
Crisi Acciaio teso pre-esistente

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{s0} + \Delta\varepsilon_s = -0.01$$



$$\Delta\varepsilon_s = -0.01 - \varepsilon_{s0}$$

(N.B.: TRAZIONE NEGATIVA)



Deformazione angolare teso:

$$\varepsilon_{ang} = \frac{h - x - \delta_{ang}}{h - \delta - x} \cdot \Delta\varepsilon_s$$

Deformazione acciaio compresso pre-esistente:

$$\varepsilon'_s = \varepsilon'_{s0} - \frac{x - \delta'}{h - \delta - x} \cdot \Delta\varepsilon_s$$

Deformazione angolare compresso:

$$\varepsilon'_{ang} = -\frac{x - \delta'_{ang}}{h - \delta - x} \cdot \Delta\varepsilon_s$$

Deformazione calcestruzzo:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{c0} - \frac{x}{h - \delta - x} \cdot \Delta\varepsilon_s$$



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



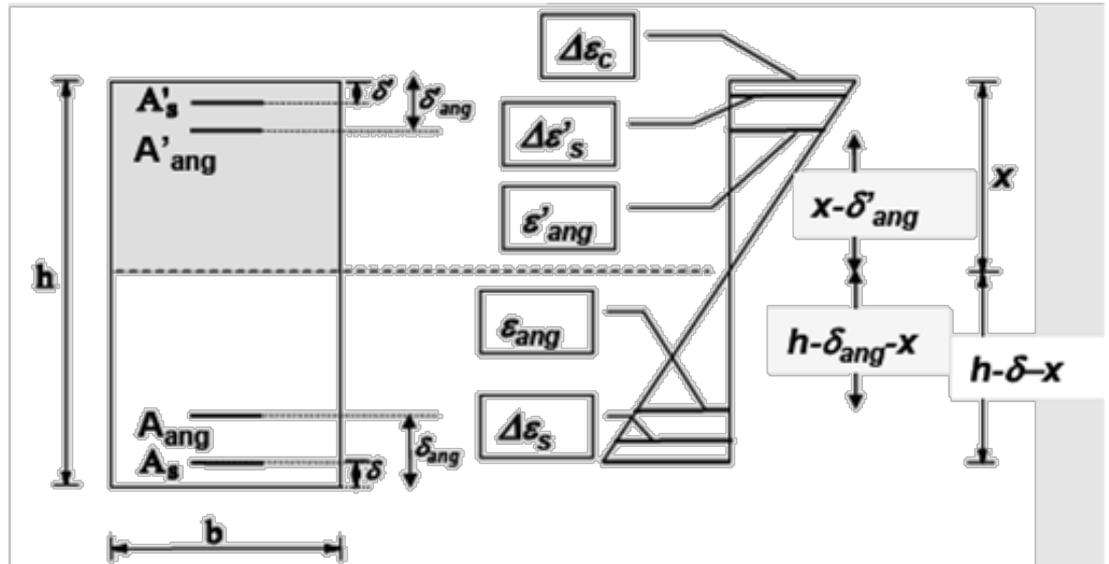
Camicie in c.a.

CAMICIE IN ACCIAIO

Crisi Acciaio angolare Teso

$$\varepsilon_{ang} = -0.01$$

(N.B.: TRAZIONE NEGATIVA)



Deformazione angolare compresso:

$$\varepsilon'_{ang} = \frac{x - \delta'_{ang}}{h - \delta_{ang} - x} \cdot \varepsilon_{ang}$$

Deformazione acciaio compresso pre-esistente:

$$\varepsilon'_s = \varepsilon'_{s0} - \frac{x - \delta'}{h - \delta_{ang} - x} \cdot \varepsilon_{ang}$$

Deformazione acciaio teso pre-esistente:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{s0} + \frac{h - \delta - x}{h - \delta_{ang} - x} \cdot \varepsilon_{ang}$$

Deformazione calcestruzzo:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{c0} - \frac{x}{h - \delta_{ang} - x} \cdot \varepsilon_{ang}$$



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

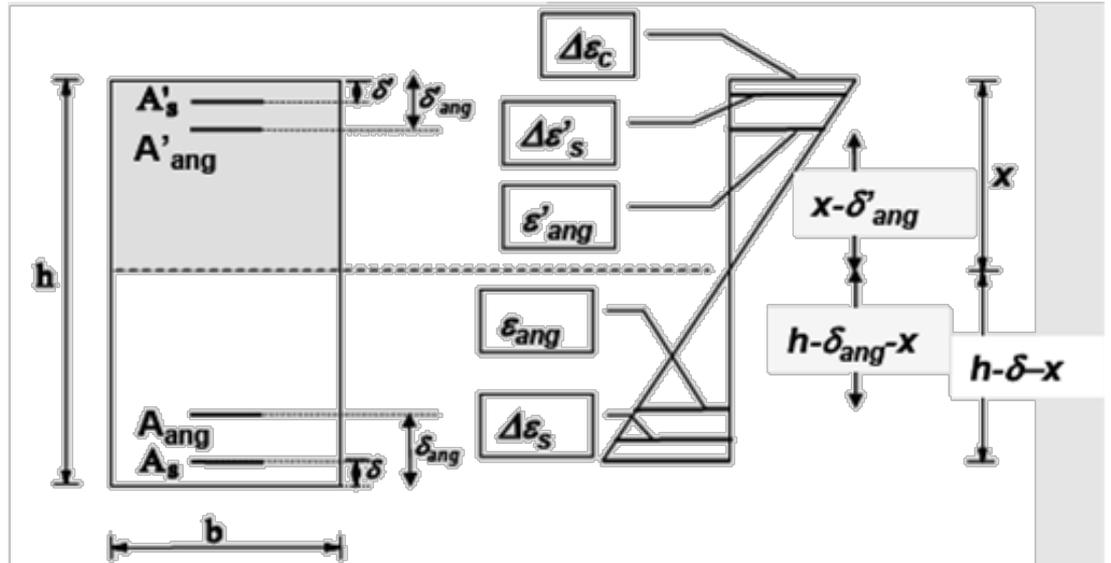
CAMICIE IN ACCIAIO

Crisi Calcestruzzo Compresso

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{c0} + \Delta\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$$



$$\Delta\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} - \varepsilon_{c0}$$



Deformazione angolare compresso:

$$\varepsilon'_{ang} = -\frac{x - \delta'_{ang}}{x} \cdot \Delta\varepsilon_c$$

Deformazione acciaio compresso pre-esistente:

$$\varepsilon'_s = \varepsilon'_{s0} + \frac{x - \delta'}{x} \cdot \Delta\varepsilon_c$$

Deformazione acciaio teso pre-esistente:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{s0} - \frac{h - \delta - x}{x} \cdot \Delta\varepsilon_c$$

Deformazione angolare teso:

$$\varepsilon_{ang} = -\frac{h - \delta_{ang} - x}{x} \cdot \Delta\varepsilon_c$$



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

Calcolo del Momento Ultimo

1. Si determina l'asse neutro e il diagramma delle deformazioni della sezione non rinforzata allo SLU
2. Fissate le ipotesi di partenza sulla modalità di crisi della sezione rinforzata si determina l'asse neutro x dall'equilibrio alla traslazione allo SLU

$$\psi \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} + A'_s \cdot \sigma'_s + A'_{ang} \cdot \sigma'_{ang} + A_s \cdot \sigma_s + A_{ang} \cdot \sigma_{ang} = N$$

3. Si verifica l'esattezza delle ipotesi; se non verificate si ricalcola x cambiando ipotesi di partenza
4. Si calcola il Momento Ultimo della sezione rinforzata

$$\psi \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} \left(\frac{h}{2} - \lambda \cdot x \right) + A'_s \cdot \sigma'_s \left(\frac{h}{2} - \delta' \right) + A'_{ang} \cdot \sigma'_{ang} \left(\frac{h}{2} - \delta'_{ang} \right) - A_s \cdot \sigma_s \left(\frac{h}{2} - \delta \right) - A_{ang} \cdot \sigma_{ang} \left(\frac{h}{2} - \delta_{ang} \right) = N$$



CAMICIE IN ACCIAIO

Resistenza a Taglio

Il contributo della camicia alla resistenza a taglio può essere considerato aggiuntivo alla resistenza a taglio pre-esistente purchè la camicia rimanga interamente in campo elastico.

Se la tensione media della camicia è limitata al 50% del valore di snervamento l'espressione della resistenza a taglio aggiuntiva offerta dalla camicia (calastrelli) vale:

$$V_j = 0.5 \frac{2 \cdot t_j \cdot b}{s} f_{yw} \frac{1}{\cos \alpha_t}$$

Dove:

t_j = spessore dei calastrelli o della camicia;

b = larghezza dei calastrelli;

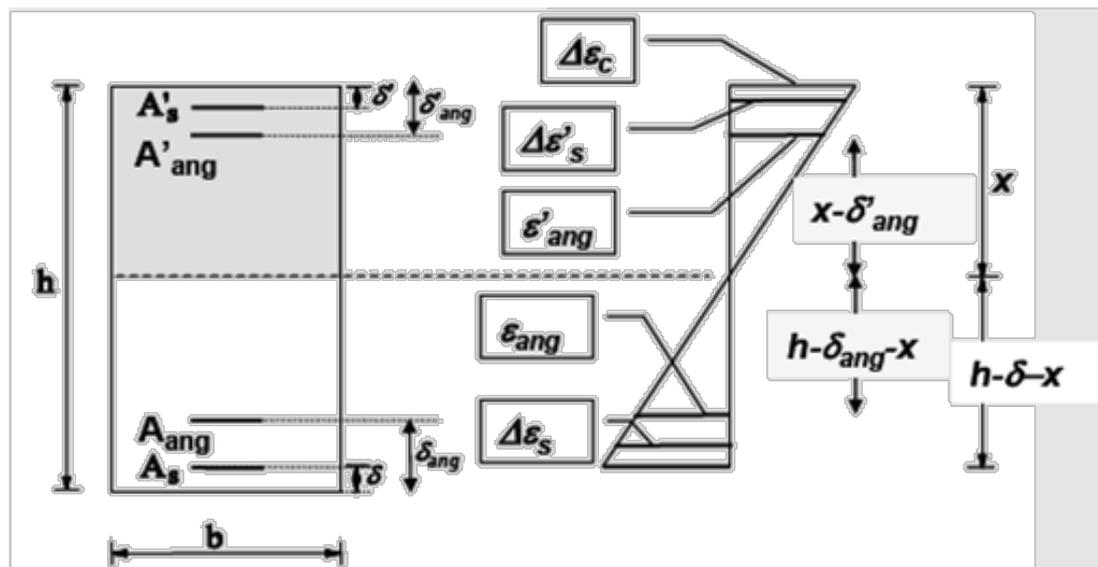
s = passo dei calastrelli ($b/s=1$ se camicia continua);

f_{yw} = resistenza di calcolo a snervamento dell'acciaio;

α_t = inclinazione delle fessure per taglio.



Angolari e Calastrelli

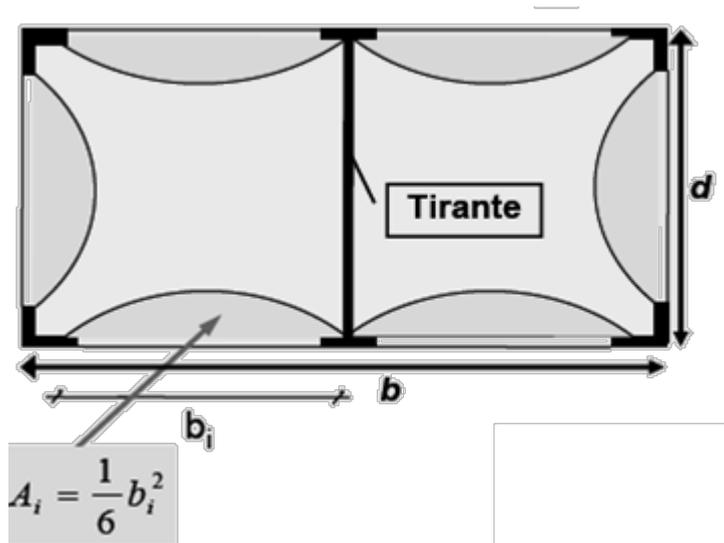


Rinforzo con Angolari

Sezione non rinforzata	$M_u =$	18383.88 kgm
Solo confinamento	$M_u =$	18606.28 kgm
Angolari compr.	$M_u =$	20275.64 kgm
Angolari compr+traz	$M_u =$	26638.64 kgm



Angolari e Calastrelli – Sezione Lunga



Rinforzo con
Angolari sez Lunga

Sezione non rinforzata	$\mu_u =$	37051.62 kgm
Solo confinamento	$\mu_u =$	37358.29 kgm
Angolari compress	$\mu_u =$	38959.86 kgm
Angolari compr+traz	$\mu_u =$	52254.66 kgm

$$b = 90\text{cm}; \quad d = 30\text{cm}; \quad d' = 2\text{cm}$$

$$\alpha_n = \frac{A_e}{A} = 1 - \frac{\sum b_i^2}{6bd} = 1 - \frac{28^2 \cdot 2 + 44^2 \cdot 4}{6 \cdot 30 \cdot 90} = 0.425$$



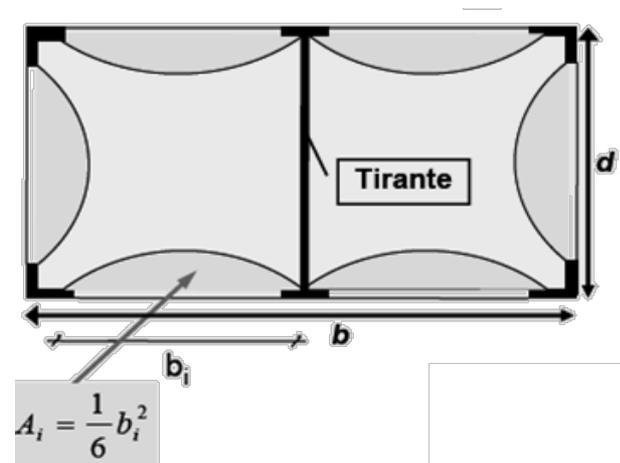
Angolari e Calastrelli – Sezione Lunga

PROGETTO DEL TIRANTINO

Il tirantino deve avere un'area equivalente a quella del calastrello, in quanto le formule per il confinamento valgono nell'ipotesi limite di snervamento dei calastrelli, pertanto ad ogni livello di calastrello deve essere inserito un tirantino di area pari a:

$$f_{yk,cal} = 2750 \text{ kg/cm}^2$$
$$A_{cal} = 5 \cdot 0.6 = 3 \text{ cm}^2$$
$$f_{yk,barra} = 3800 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{yk,cal} A_{cal} = f_{yk,barra} A_{barra} \Rightarrow A_{barra} = \frac{f_{yk,cal} A_{cal}}{f_{yk,barra}} = 1.86 \text{ cm}^2 \Rightarrow 1\phi 16$$



CAMICIE IN C.A.



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

CAMICIE IN C.A.



Introduzione



Rinforzo Statico
di Solai e/o travi



Irrigidimento



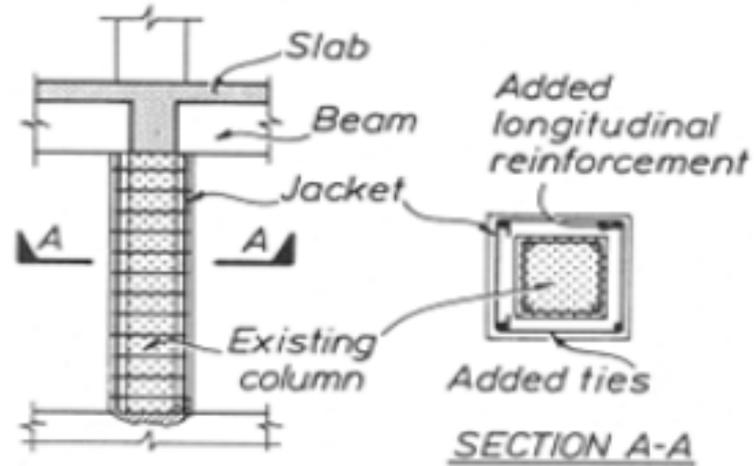
Camicie in acciaio



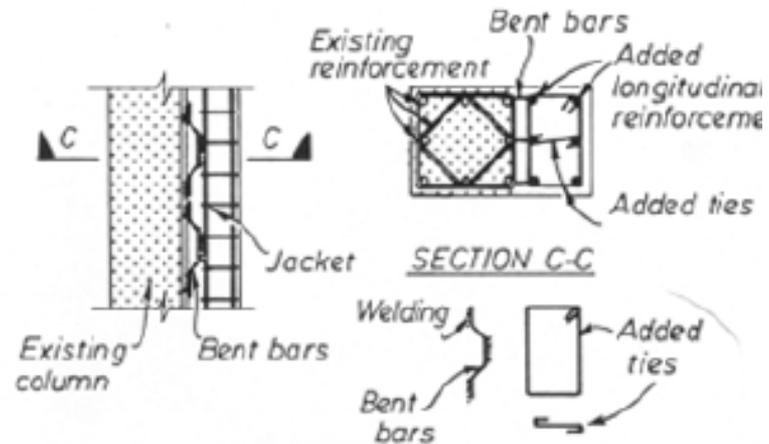
Camicie in c.a.

CAMICIE IN C.A.

Tipologie



Incamicatura



Ringrosso da un lato



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

Metodo di progetto

- L'intervento tende ad incrementare la resistenza degli elementi resistenti già esistenti.
- Il progetto dell'intervento è fatto tenendo conto delle caratteristiche geometriche, per definire la dimensione delle camice, e controllando che siano rispettati i limiti sulle deformazioni.

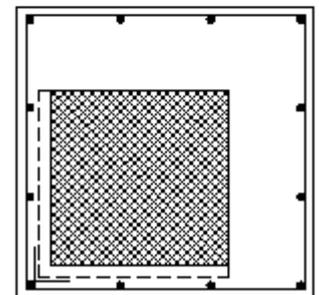
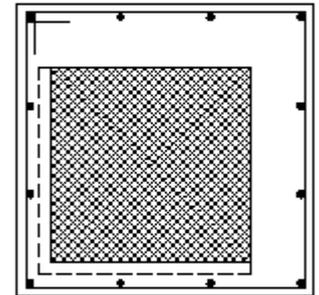
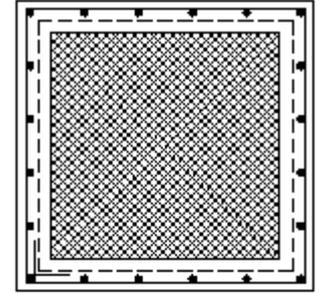
□ Analisi

□ Verifiche:

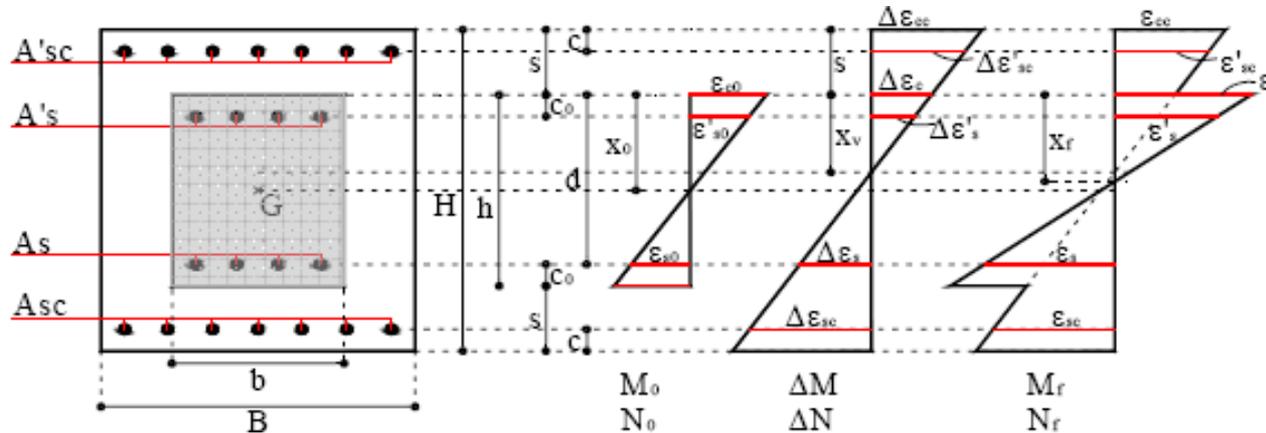
- Resistenza a taglio: $\sim V_R = 0,9 \cdot V_{Ri}$
- Resistenza a flessione: $\sim M_y = 0,9 \cdot M_{yi}$
- Deformabilità allo snervamento: $\sim \theta_y = 0,9 \cdot \theta_{yi}$
- Deformabilità ultima: $\sim \theta_u = \theta_{ui}$

□ Resistenze dei materiali:

- Calcestruzzo: le stesse del cls aggiunto
- Acciaio meccanismi duttili: $f_d = f_m / FC$
- Acciaio meccanismi fragili: $f_d = f_m / (FC \cdot \gamma_M)$



Procedura di Calcolo



Deformazioni iniziali dovute a N_0 ed M_0 esistenti all'atto del rinforzo

- ϵ_{c0} = massima deformazione iniziale nel calcestruzzo pre-esistente compresso
- ϵ'_{s0} = massima deformazione iniziale nell'acciaio compresso pre-esistente
- ϵ_{s0} = massima deformazione iniziale nell'acciaio teso pre-esistente

Variazione dello stato di deformazione dovuta a ΔM e ΔN applicati dopo il rinforzo

- $\Delta\epsilon_c$ = variazione della deformazione nel calcestruzzo pre-esistente compresso
- $\Delta\epsilon'_s$ = variazione della deformazione nell'acciaio compresso pre-esistente
- $\Delta\epsilon_s$ = variazione della deformazione nell'acciaio teso pre-esistente
- $\Delta\epsilon_{cc}$ = deformazione massima nel calcestruzzo della camicia di rinforzo
- $\Delta\epsilon'_{sc}$ = deformazione massima nell'acciaio compresso della camicia di rinforzo
- $\Delta\epsilon_{sc}$ = deformazione massima nell'acciaio teso della camicia di rinforzo



Procedura di Calcolo

Stato di deformazione finale

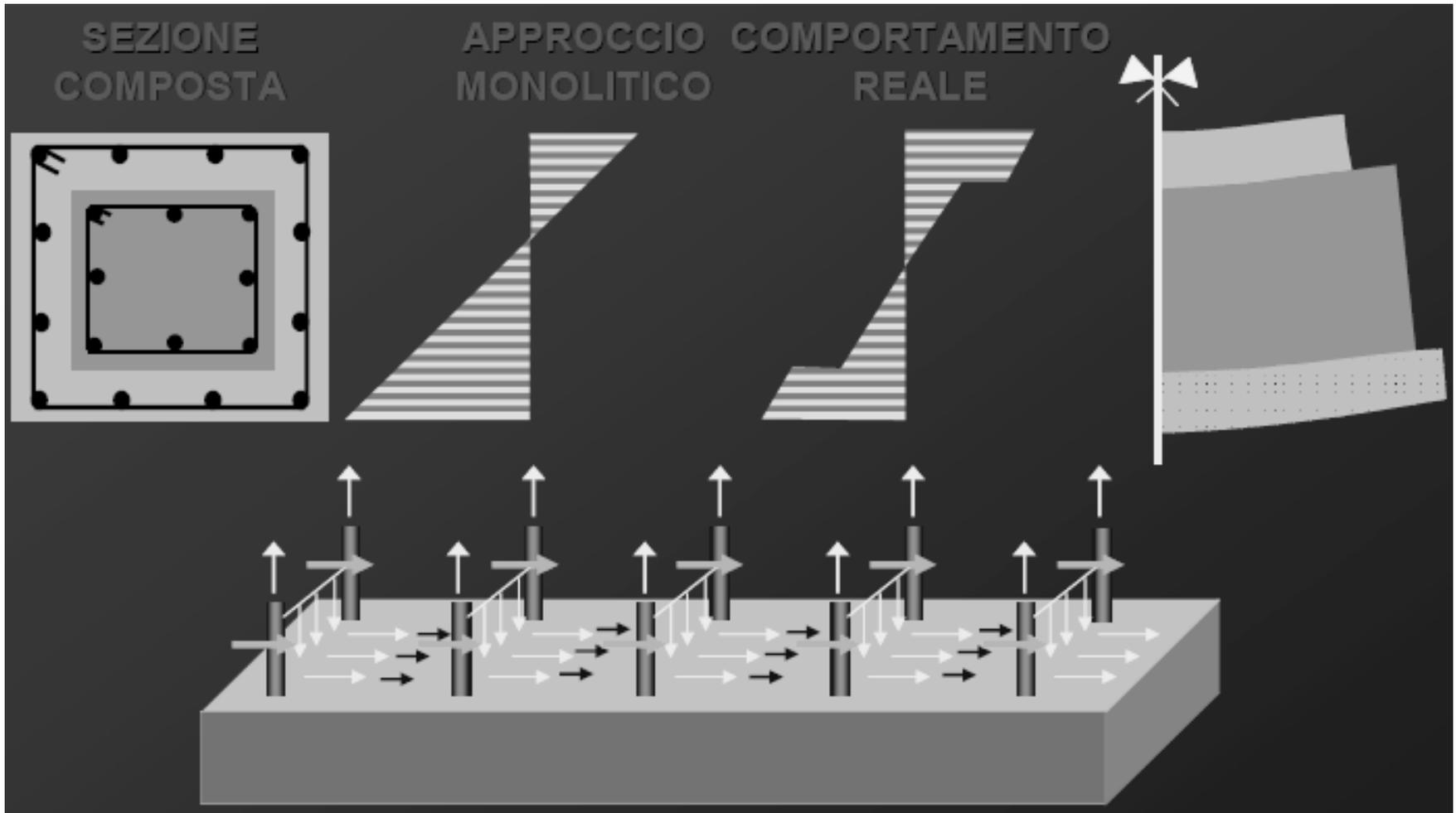
- $\varepsilon_c = \varepsilon_{c0} + \Delta\varepsilon_c$ deformazione nel calcestruzzo pre-esistente compresso
- $\varepsilon'_s = \varepsilon'_{s0} + \Delta\varepsilon'_s$ deformazione nell'acciaio compresso pre-esistente
- $\varepsilon_s = \varepsilon_{s0} + \Delta\varepsilon_s$ deformazione nell'acciaio teso pre-esistente
- $\varepsilon_{cc} = \Delta\varepsilon_{cc}$ deformazione nel calcestruzzo compresso della camicia
- $\varepsilon'_{sc} = \Delta\varepsilon'_{sc}$ deformazione nell'acciaio compresso della camicia di rinforzo
- $\varepsilon_{sc} = \Delta\varepsilon_{sc}$ deformazione nell'acciaio teso della camicia di rinforzo

Possibili modalità di collasso

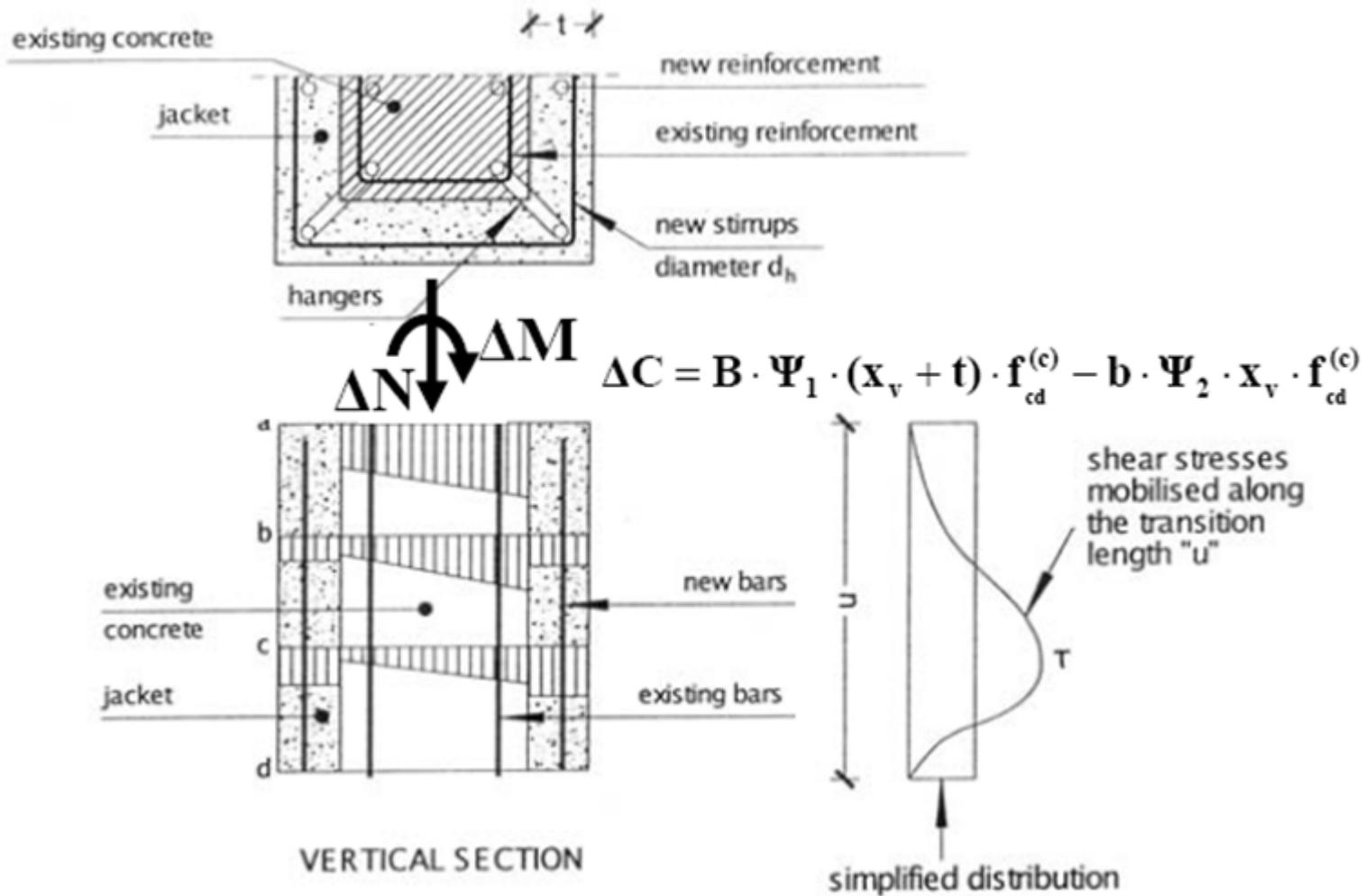
- Crisi del calcestruzzo pre-esistente
- Crisi dell'acciaio teso pre-esistente
- Crisi del calcestruzzo compresso della camicia di rinforzo
- Crisi dell'acciaio teso della camicia di rinforzo



Procedura di calcolo - Scorrimenti



Procedura di Calcolo - Scorrimenti



Procedura di Calcolo Semplificata

Ai fini della valutazione della resistenza e della deformabilità di elementi incamiciati sono accettabili ipotesi semplificative:

- **L'elemento incamiciato si comporta monoliticamente** con piena aderenza tra il calcestruzzo vecchio e il nuovo.
- Si trascura il fatto che **il carico assiale** è applicato alla sola porzione preesistente dell'elemento e **si considera che esso agisca sull'intera sezione incamiciata**
- **Le proprietà meccaniche del calcestruzzo della camicia** si considerano estese all'intera sezione se le differenze fra i due materiali non sono eccessive.



CAMICIE IN C.A.

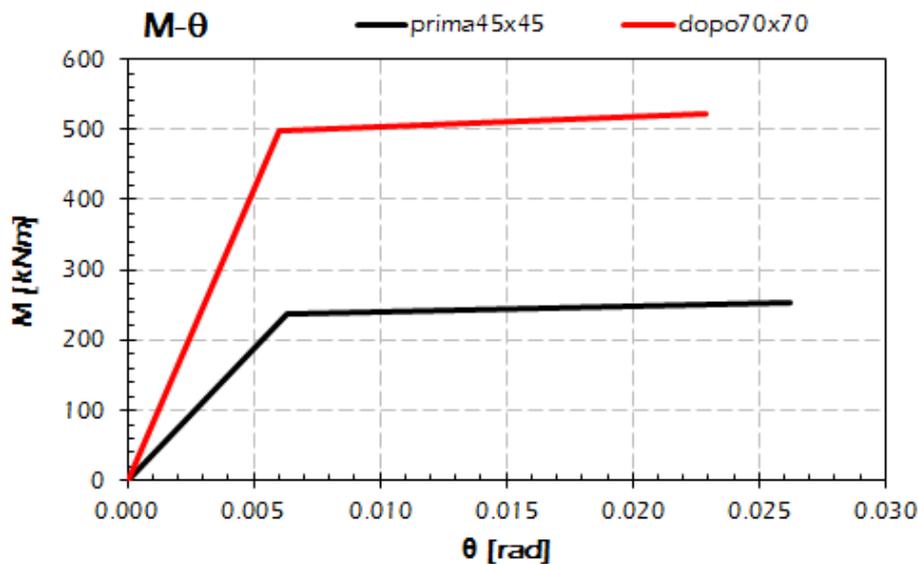
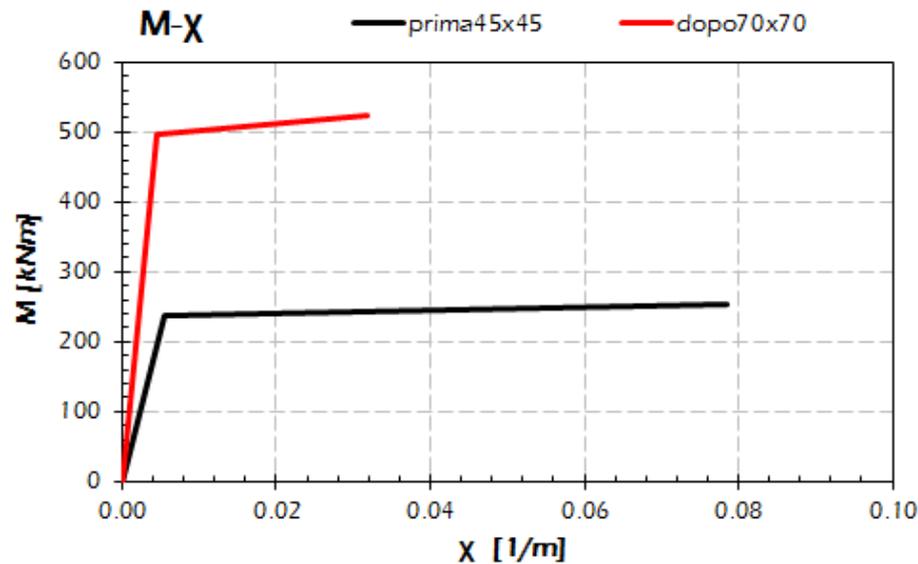
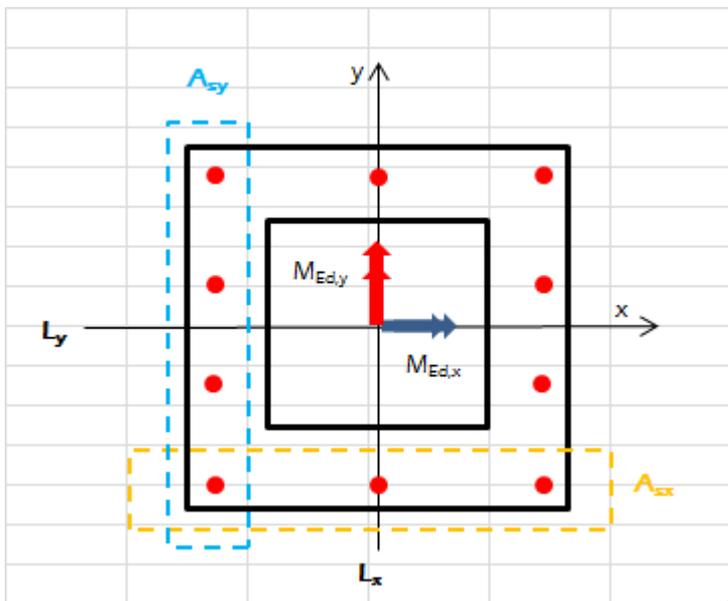
ESEMPIO NUMERICO

Pilastro 45x45 armato

Ringrosso fino a 70x70 cm



Incamicatura CA



Introduzione



Rinforzo Statico di Solai e/o travi



Irrigidimento



Camicie in acciaio



Camicie in c.a.

N.B. I fogli di calcolo presentati non sono stati automatizzati a sufficienza ed inoltre non sono stati testati su un idoneo numero di casi studio. In tal senso potrebbero non funzionare correttamente con sezioni diverse da quelle riportate negli esempi.

Tuttavia, a puro scopo didattico, al fine di fornire una utile base di partenza per la progettazione degli interventi, i file excel saranno a breve disponibili su www.carminelima.eu

GRAZIE PER LA CORTESE ATTENZIONE

