

Seminario

VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO NELLE STRUTTURE ESISTENTI

Conoscere il calcestruzzo per progettare la sicurezza delle
strutture esistenti

soggetto promotore  **LABORATORIO STRUCTURA**



venerdì **18 SETTEMBRE 2026** ore 15:30
STRUCTURA s.r.l. - Via Roald Amundsen - RENDE CS

Protezione sismica delle costruzioni esistenti

Alfonso Vulcano



*Già Professore Ordinario di “Tecnica delle costruzioni”
Università della Calabria (Rende, CS) - Dipartimento di Ingegneria Civile*

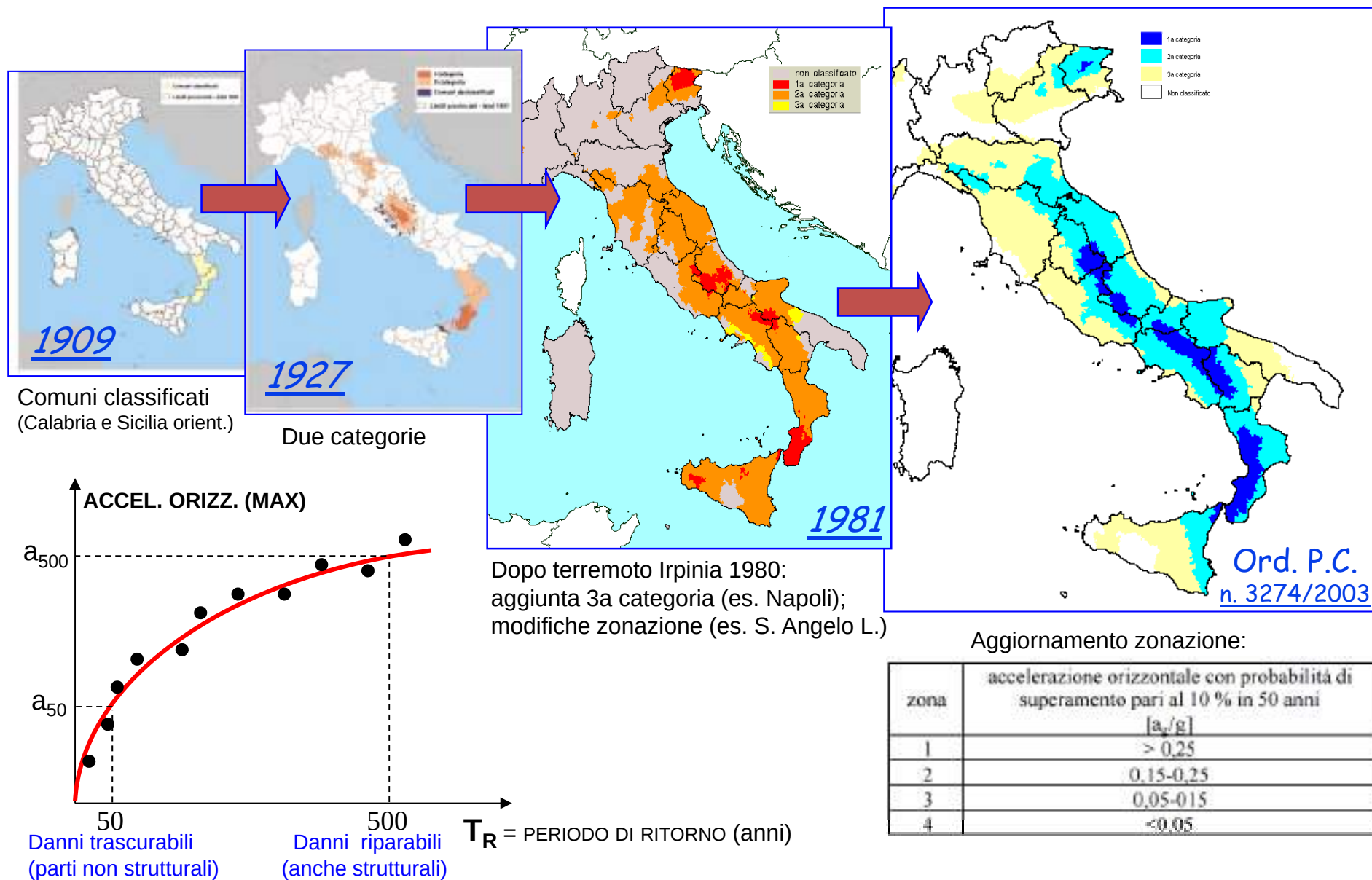
Membro della Commissione Sismica GLIS-ANTEL

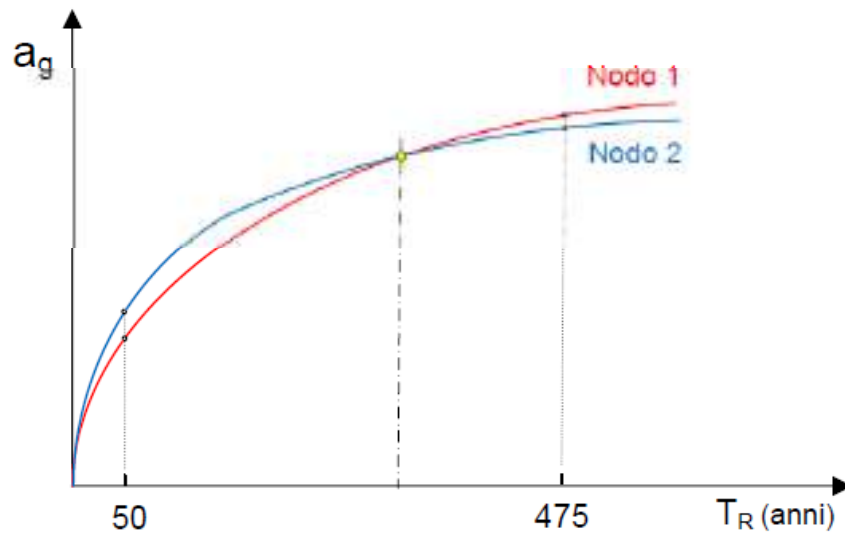
CONTENUTI

- ❑ Evoluzione della normativa tecnica e dei criteri progettuali in zona sismica
- ❑ Obiettivi da perseguire e strategie d'intervento per la riduzione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti
- ❑ Tecniche tradizionali e tecnologie moderne d'intervento (alcuni esempi con riferimento a edifici in c.a.)

1. Evoluzione della normativa tecnica e dei criteri progettuali in zona sismica

PERICOLOSITA' SISMICA (alcune tappe nella definizione della zonazione)





$$V_R = V_N \cdot C_U \Rightarrow T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

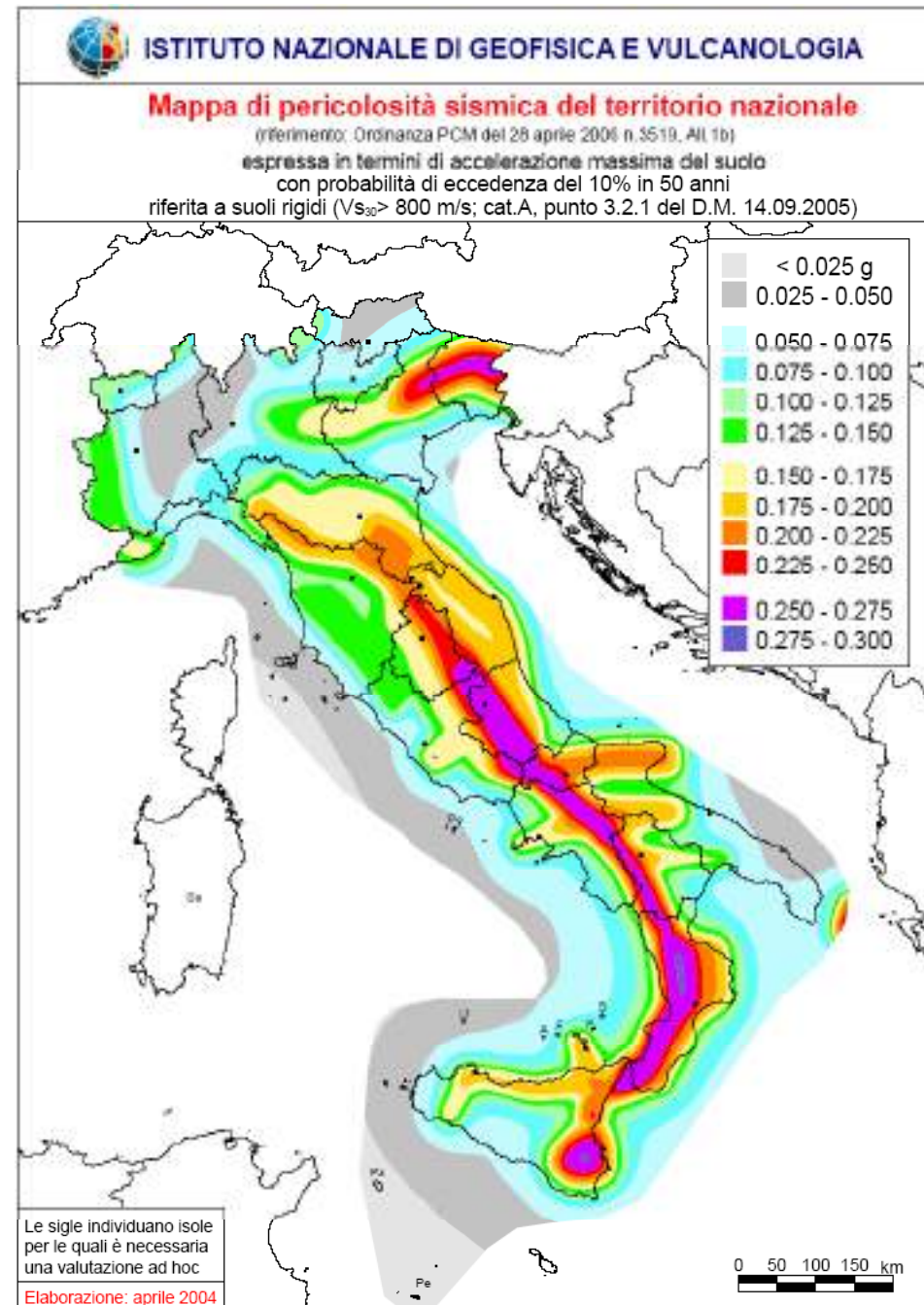
V_R = Periodo di riferimento

V_N = Vita nominale

C_U = Coeff. d'uso (0,7; 1; 1,5; 2)

T_R = Periodo di ritorno

P_{V_R} = Probabilità di superamento



EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA SISMICA ITALIANA

I generazione

Regio Decreto n. 193 del 18 aprile 1909
Regio Decreto Legge n. 1526 del 5 novembre 1916
Regio Decreto Legge n. 431 del 13 marzo 1927
Regio Decreto Legge n. 640 del 25 marzo 1935
Legge n. 1684 del 25 novembre 1962

II generazione

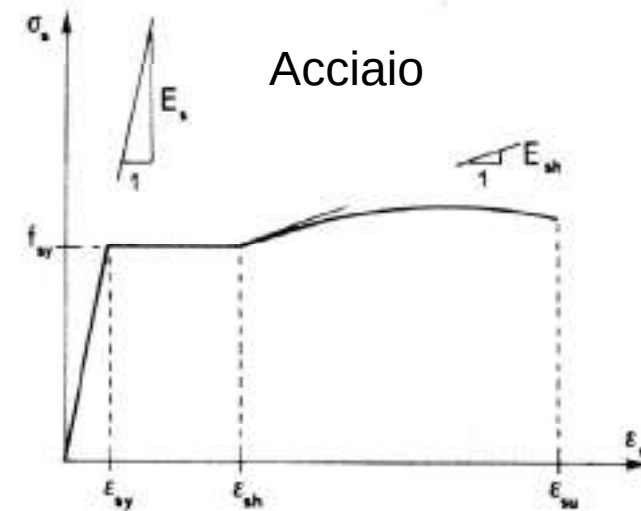
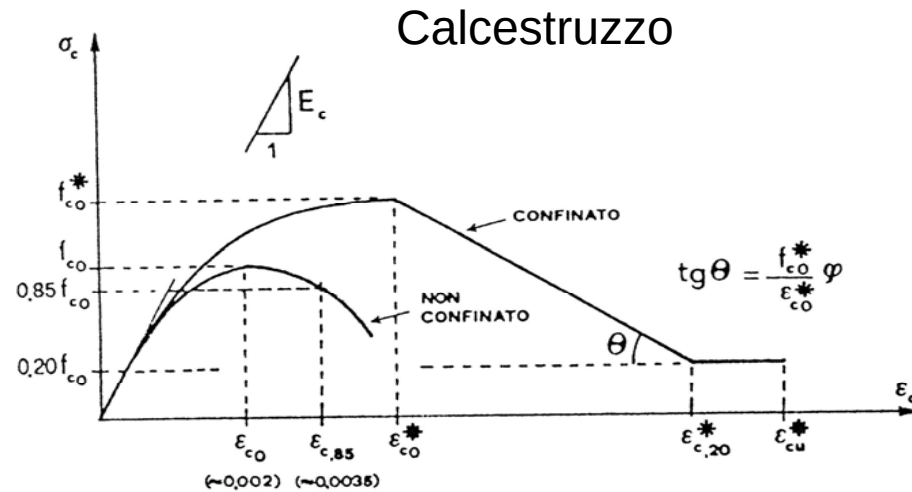
Legge n. 64 del 2 febbraio 1974
Decreto Ministeriale 3 marzo 1975
Decreto Ministeriale 3 giugno 1981
Decreto Ministeriale 19 giugno 1981
Decreto Ministeriale 24 gennaio 1986

III generazione

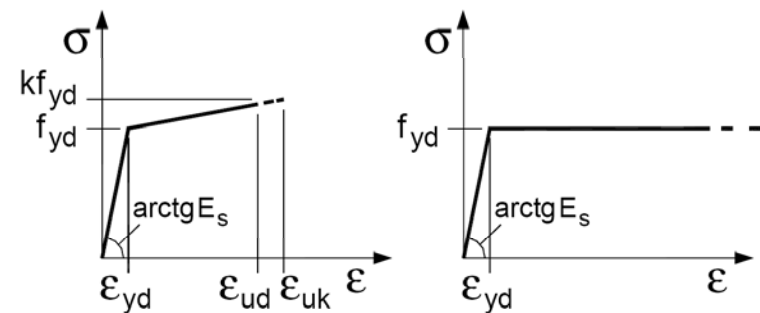
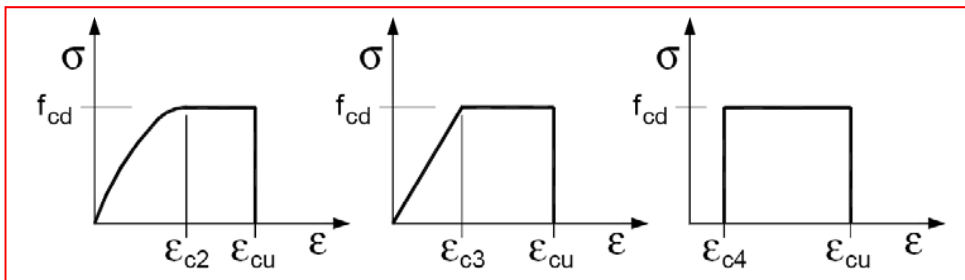
Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996
Ord.P.C.M. n. 3274- 20/03/2003
Ord.P.C.M. n. 3431-03/05/2005
Norme Tecniche per le Costruzioni 14/01/2008
(Istruzioni, Circolare 02/02/2009 n. 617, C.S.LL.PP.)
Aggiornamento N.T.C. 17/01/2018
(Istruzioni, Circolare 21/01/2019 n. 7, C.S.LL.PP.)

COSTRUZIONI IN CALCESTRUZZO ARMATO

LEGAMI COSTITUTIVI (realistici)



LEGAMI COSTITUTIVI (di calcolo, NTC2018)



COSTRUZIONI IN CALCESTRUZZO ARMATO

Classificazione Materiali (normative)

Normative	Calcestruzzo	Barre armatura
R.D.L. 16-11-1939	$\sigma_{rk,28}$ (Kg/cm ²) Resistenza <u>cubica</u> a 28 gg (media dei 3 risultati maggiori di una serie di 4 cubi)	Acciai in tondo o di forma speciale (es. ritorto) Aq42, Aq50, Aq60 (dolce, semiduro, duro) ↑ R_{ak} (kg/mm ²): Resistenza a <u>rottura</u> caratteristica
D.M. (LL.PP.) 30-5-1972	R'_{bk} (Kg/cm ²) Resistenza caratteristica <u>cubica</u> (28 gg) (b: " <u>beton</u> ")	FeB22, FeB32 (<i>Barre lisce</i>) A38, A41, FeB44k (<i>Barre ad. migliorata</i>) ↑ R_{ak} (kg/mm ²): Resistenza caratteristica a <u>snervamento</u>
D.M. (LL.PP.) 14-2-1992	R_{ck} (Kg/cm ² ; N/mm ²) Resistenza caratteristica <u>cubica</u> (c: " <u>concrete</u> ")	FeB22k, FeB32k (<i>Barre lisce</i>) FeB38k, FeB44k (<i>B. ader. migliorata</i>) ↑ R_{ak} (kg/mm ²) Resistenza caratteristica a <u>snervamento</u>
.....		
D.M. (LL.PP.) 9-1-1996	R_{ck} (N/mm ²)	f_{yk} : Resist. caratt. a <u>snervamento</u> ("yielding") f_{tk} : Resistenza caratteristica a <u>rottura</u> (N/mm ²)
N.T.C. 14-1-2008 (M.I.) Circ. C.S.LL.PP. 2-2-2009 N.T.C. 17-1-2018 (M.I.T.) Circ. C.S.LL.PP. 21-1-2019	f_{ck} R_{ck} (N/mm ²) ↓ ↓ Es. C 25/30 f_{ck} : Resistenza caratt. <u>cilindrica</u>	B450C, B450A (<i>solo B. ader. migliorata</i>) ↑ $f_{yk,nom}$ (<i>nominale</i>) (N/mm ²) (1 MPa = 1 N/mm ² = 100 / 9,81 = 10,193 Kg/cm ²)

PROTEZIONE SISMICA

(Riduzione vulnerabilità / rischio)



**STRATEGIE
TRADIZIONALI**
(es., edifici in c.a.)

Resistenza / Duttilità



**TECNOLOGIE
MODERNE**
(isolamento/dissipazione)

Riduzione effetti sismici

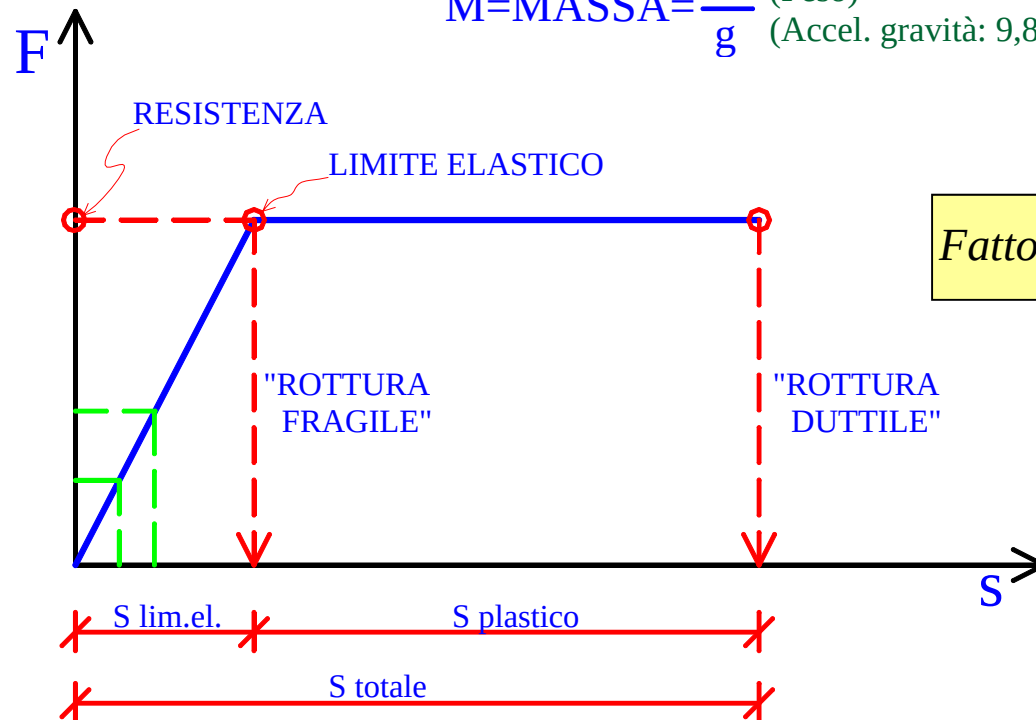
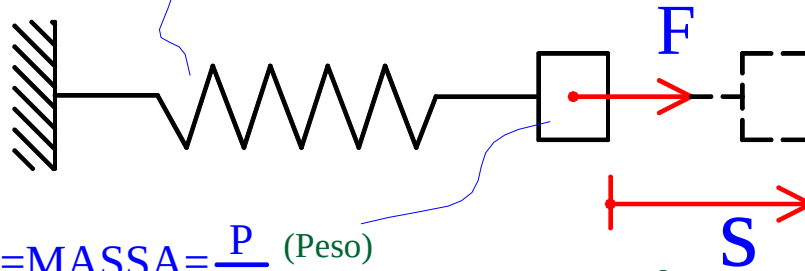
NOZIONI DI BASE

OSCILLATORE SEMPLICE

$$K = \text{RIGIDEZZA} = \frac{F}{S} \quad \begin{matrix} \text{(Forza)} \\ \text{(Spostamento)} \end{matrix}$$

$$M = \text{MASSA} = \frac{P}{g} \quad \begin{matrix} \text{(Peso)} \\ \text{(Accel. gravità: 9,81 m/sec}^2\text{)} \end{matrix}$$

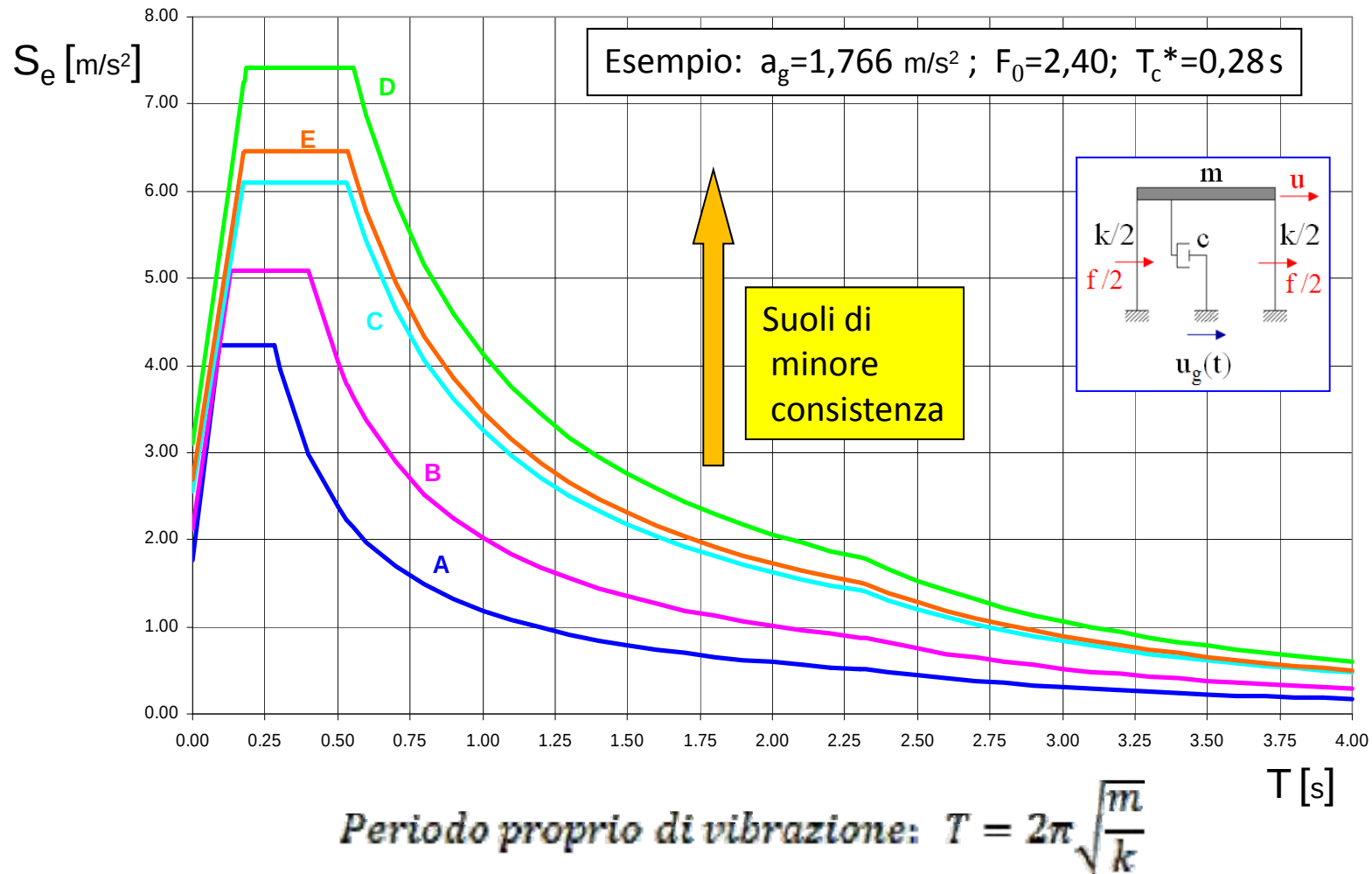
"Applicata
Staticamente"



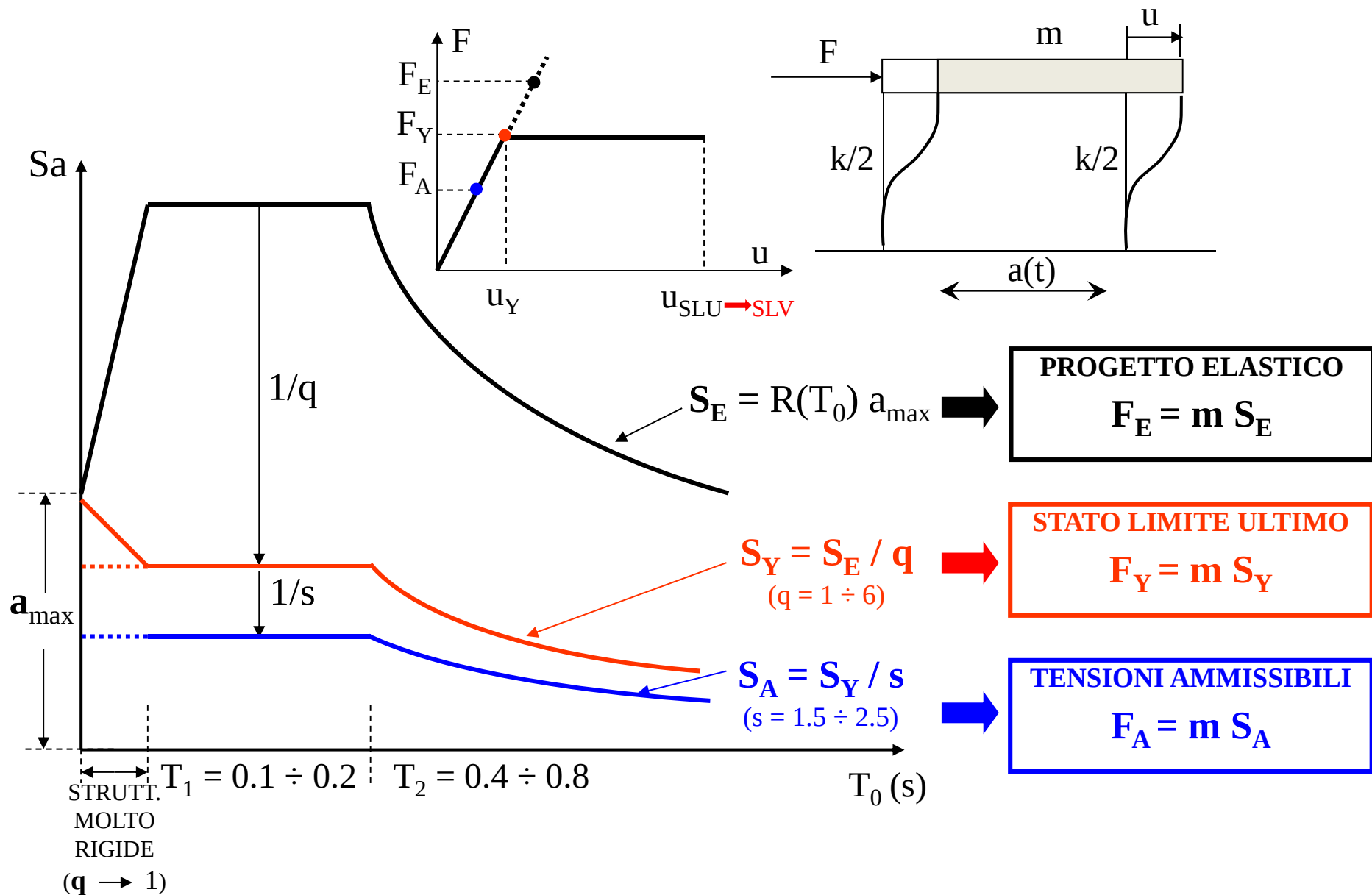
$$\text{Fattore di Duttività} = \frac{S_{\text{totale}}}{S_{\text{lim.el.}}} = 1 + \frac{S_{\text{plastico}}}{S_{\text{lim.el.}}}$$

SPETTRI ELASTICI DI PROGETTO (NTC 2008...2018)

PER CATEGORIE DI SOTTOSUOLO ($\xi=5\%$)



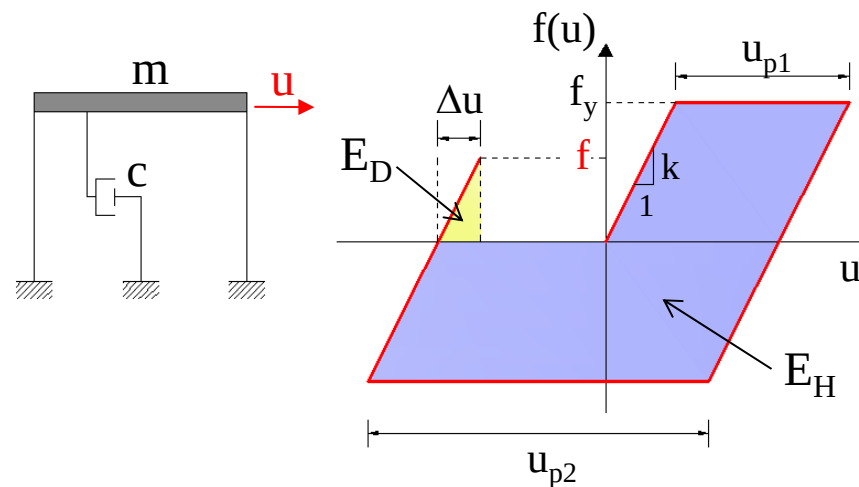
CRITERI PROGETTUALI CONVENZIONALI



7.4 COSTRUZIONI DI CALCESTRUZZO (NTC 2018)

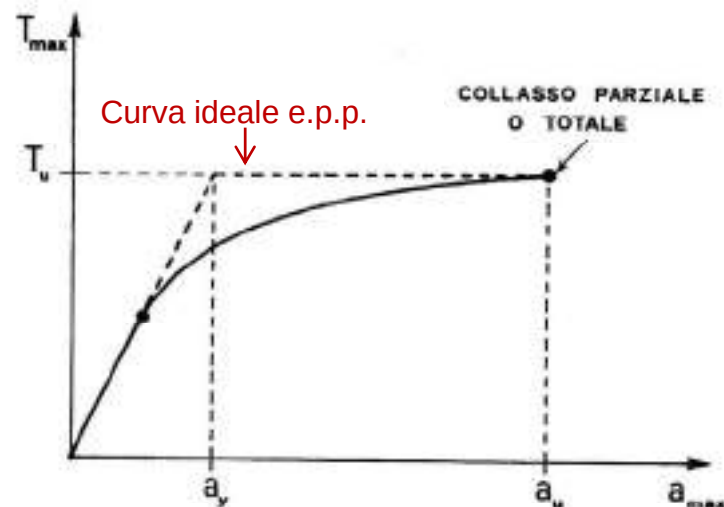
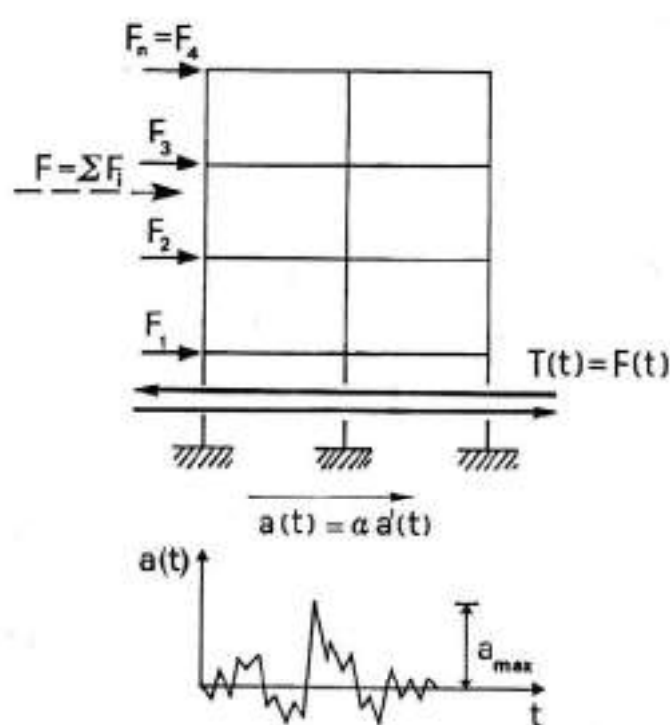
7.4.1 GENERALITÀ

L'impostazione delle presenti norme, con le regole di progetto che da essa discendono, prevede che le costruzioni in cemento armato posseggano in ogni caso una adeguata capacità di dissipare energia in campo inelastico per azioni cicliche ripetute, senza che ciò comporti riduzioni significative della resistenza nei confronti delle azioni sia verticali che orizzontali.



FATTORE DI COMPORTAMENTO (STRUTTURA)

Sistemi a più gradi di libertà



$$q = a_u / a_y$$



$$q = S_a(u) / S_a(y)$$

a_u = picco di accelerazione al suolo che produce lo SLU (es. SLV)
 a_y = picco di accelerazione al suolo cui corrisponde il limite elastico

FATTORE DI COMPORTAMENTO (D.M. 17/01/2018)

$$\text{Limite superiore (SLV): } q_{\text{lim}} = q_0 \times K_R$$

q_0 = valore massimo del fattore di comportamento

Dipende da:

- livello di duttilità attesa (**CD "A"** o **CD "B"**)
- tipologia strutturale
- rapporto α_u/α_1 (α_u : meccanismo; α_1 : prima plasticizzazione)

K_R = fattore riduttivo (dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza)

=1 per costruzioni regolari in altezza

= 0,8 per costruzioni non regolari in altezza

Tab. 7.3.II – Valori massimi del valore di base q_0 del fattore di comportamento allo SLV per diverse tecniche costruttive ed in funzione della tipologia strutturale e della classe di duttilità CD

Tipologia strutturale	q_0	
	CD "A"	CD "B"
Costruzioni di calcestruzzo (§ 7.4.3.2)		
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste (v. § 7.4.3.1)	$4,5 \alpha_u/\alpha_1$	$3,0 \alpha_u/\alpha_1$
Strutture a pareti non accoppiate (v. § 7.4.3.1)	$4,0 \alpha_u/\alpha_1$	3,0
Strutture deformabili torsionalmente (v. § 7.4.3.1)	3,0	2,0
Strutture a pendolo inverso (v. § 7.4.3.1)	2,0	1,5
Strutture a pendolo inverso intelaiate monopiano (v. § 7.4.3.1)	3,5	2,5

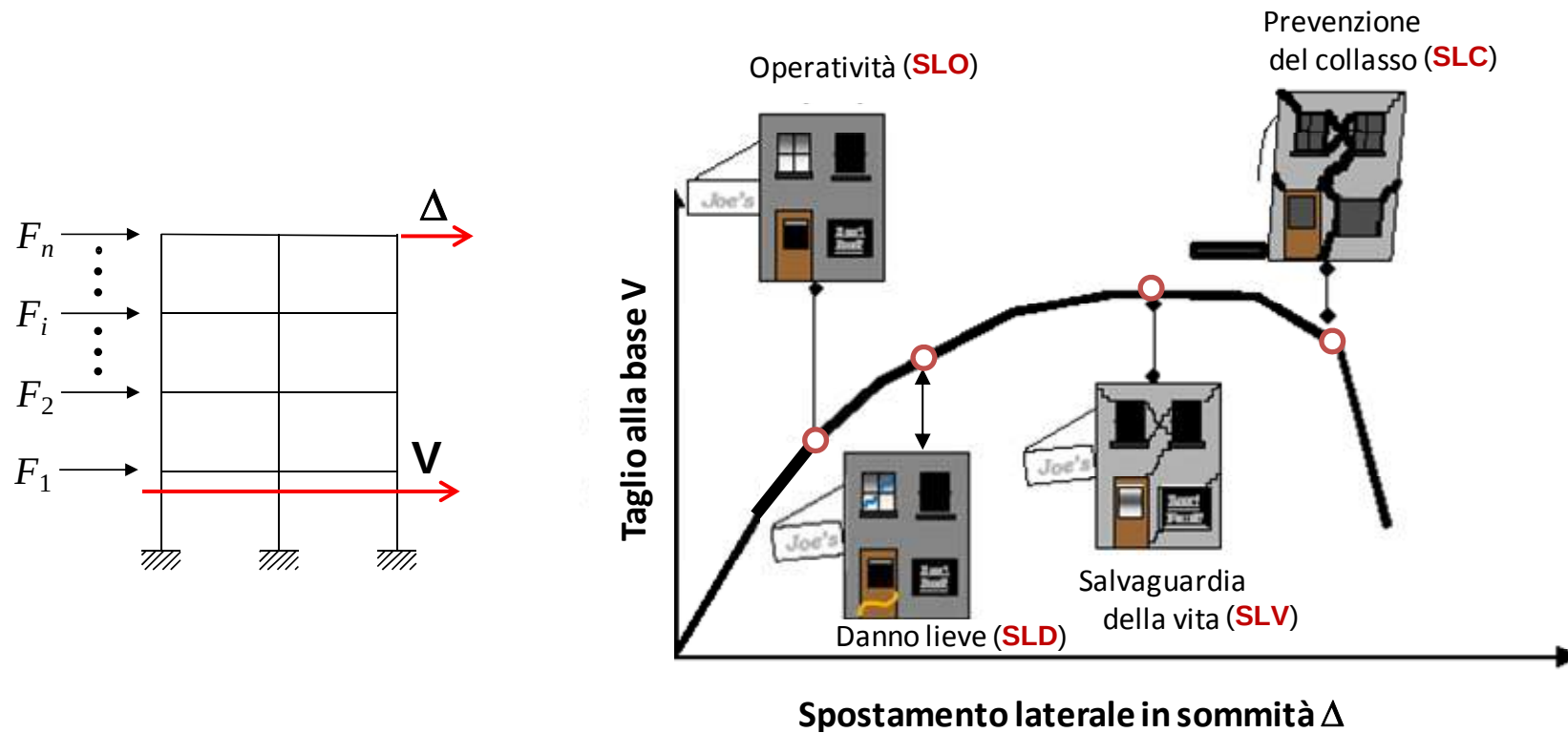
“Performance Concept” in FEMA-273 and ATC-40

FEMA (Federal Emergency Management Agency – U.S.A.)

ATC (Applied Technology Council – California, U.S.A.)



NTC 2008 2018



D.M. 17/01/2018

**PROBABILITA' DI SUPERAMENTO, P_{VR}
(PERIODO DI RIFERIMENTO, V_R)**

81%
(es., $T_R = 30$ a.)

63%
(es., $T_R = 50$ a.)

10%
(es., $T_R = 475$ a.)

5%
(es., $T_R = 975$ a.)

STATI LIMITE DI ESERCIZIO

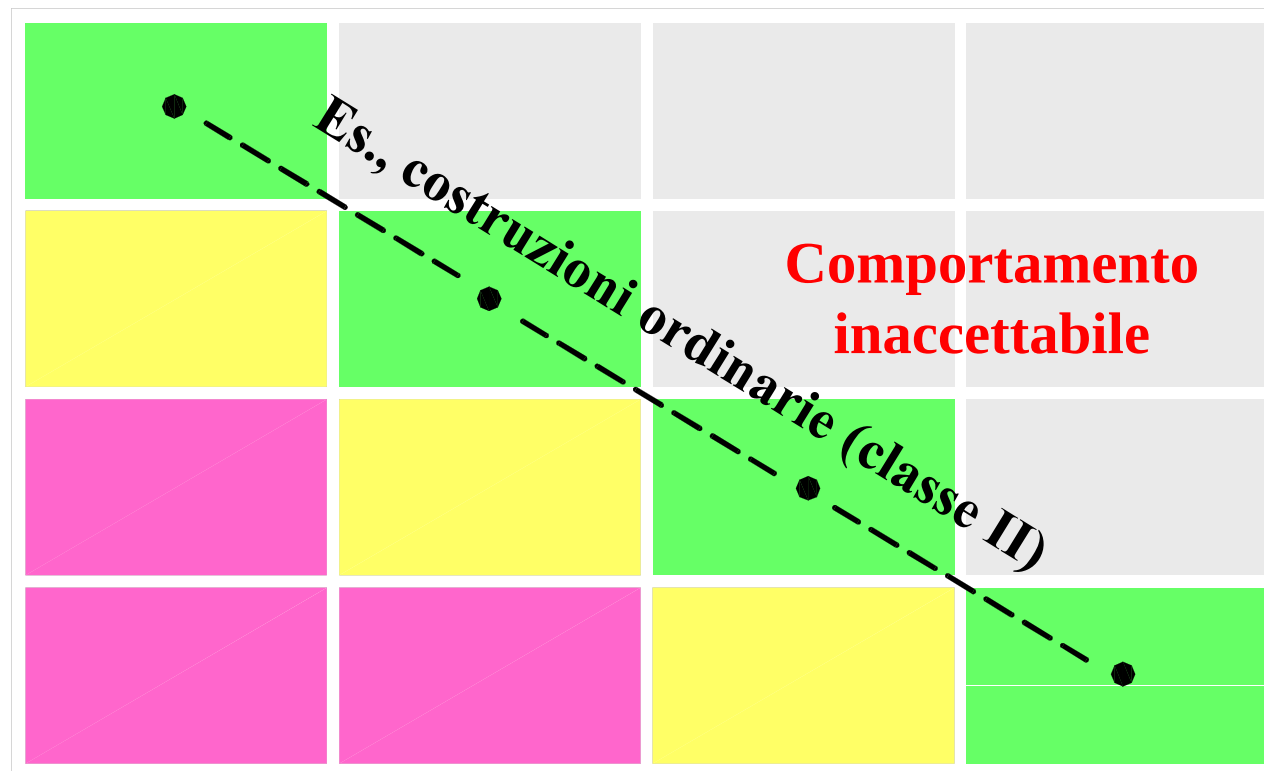
S.L.O.
(Operatività)

S.L.D.
(Danno)

STATI LIMITE ULTIMI

S.L.V.
(Salvag. Vita)

S.L.C.
(Prev. Collasso)



(es. V_N = vita nominale = 50 a.)

(es., C_U = coeff. d'uso = 1)

$$V_R = V_N \cdot C_U$$



$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

OBIETTIVI PROGETTUALI

Comportamento strutturale dissipativo

- Adeguata distribuzione delle plasticizzazioni
("regolarità strutturale")



- Evitare concentrazioni di plasticizzazione e comportamenti anomali
("gerarchia delle resistenze")

- Evitare rotture fragili

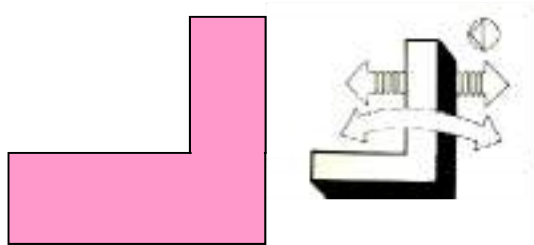


- Adeguato livello di duttilità locale
(dettagli costruttivi)

SFAVOREVOLI

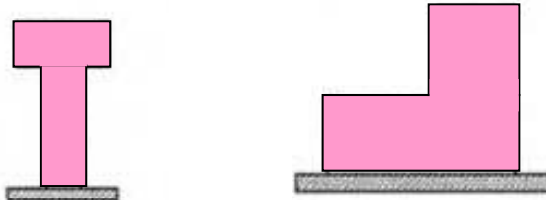
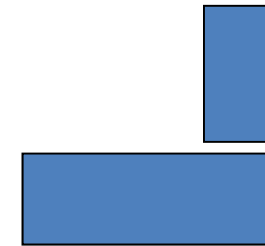
CONFIGURAZIONI

FAVOREVOLI

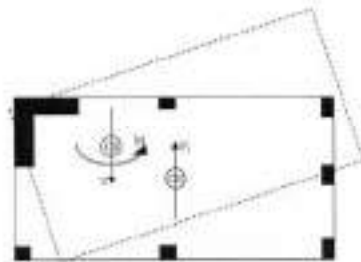
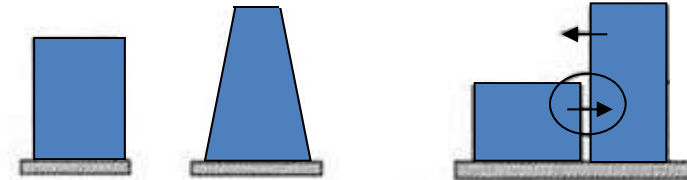


Forme
architettoniche:

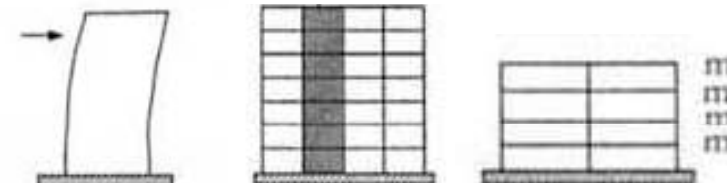
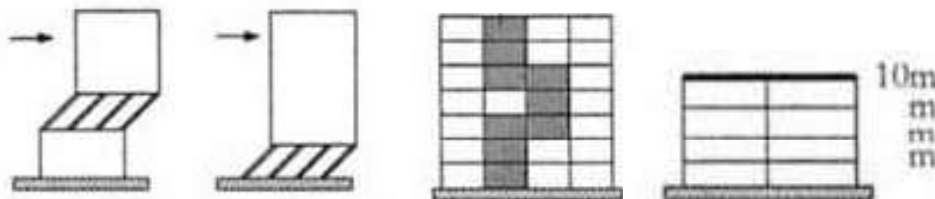
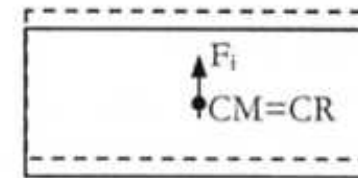
in pianta



in elevazione



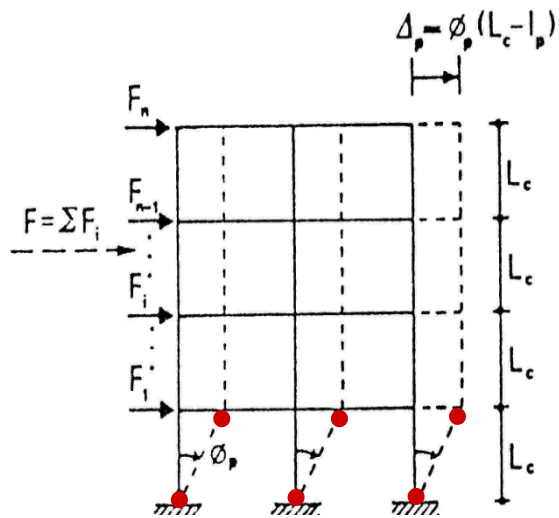
Variazioni di massa
e di rigidezza



MECCANISMI TIPICI DI PLASTICIZZAZIONE (COLLASSO)



“Pilastri deboli - Travi forti”

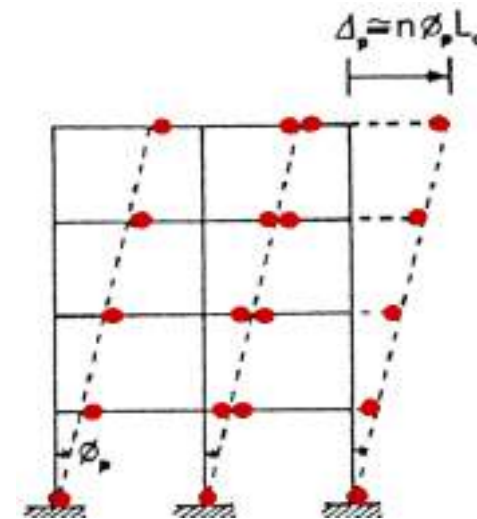


Sfavorevole:

- concentrazione di plasticizzazione
- minore capacità dissipativa
- maggiore richiesta di duttilità locale



“Pilastri forti - Travi deboli”



Preferibile:

- diffusione della plasticizzazione
- maggiore capacità dissipativa
- minore richiesta di duttilità locale

GERARCHIA DELLE RESISTENZE (TRAVE-PILASTRO)

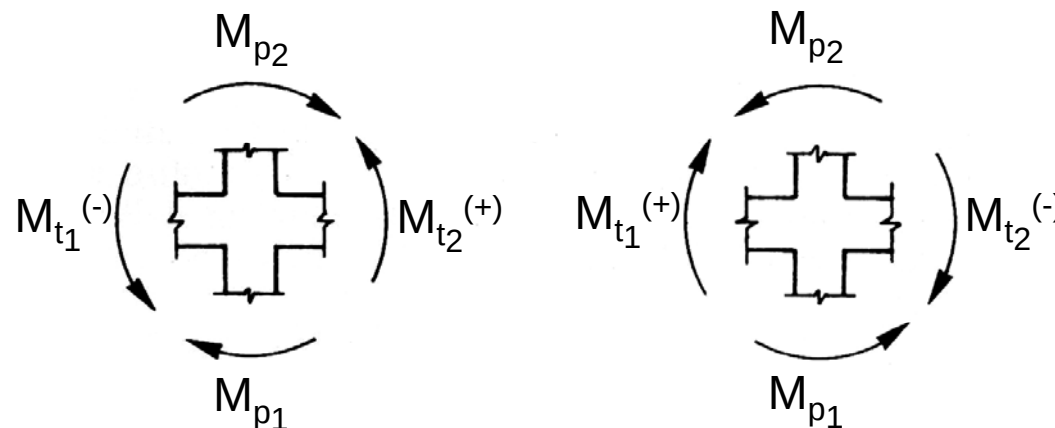
Momenti flettenti ultimi agenti

NTC 17-1-2018

$$\sum M_{c,Rd} \geq \gamma_{Rd} \cdot \sum M_{b,Rd}$$

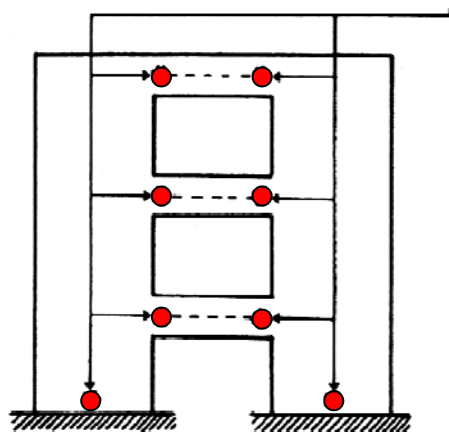
↑
pilastro

↑
trave



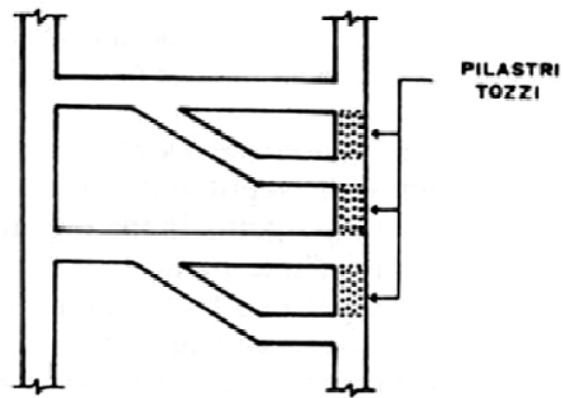
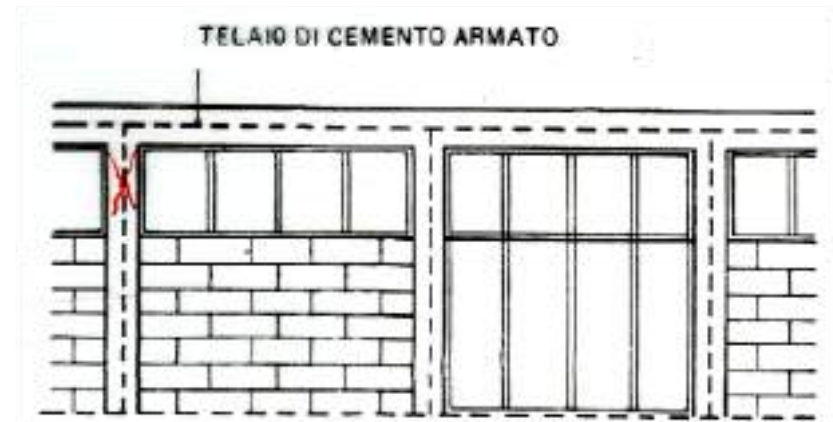
γ_{RD} =fattore di sovraresistenza=1,3 (Tab. 7.2.I, c.a. gettato in opera)

Potenziali “regioni critiche”



Zone di formazione delle “cerniere plastiche” in pareti accoppiate in c.a.
 (“Pilastri forti – Travi deboli”)

ROTTURA (FRAGILE) A TAGLIO DI ELEMENTI TOZZI



Scala a ginocchio





Danneggiamento nodo d'estremità

La fessura diagonale evidenzia una **crisi a taglio del nodo di estremità**. Lo svergolamento della barra longitudinale manifesta la totale assenza di staffe nel nodo e nei primi 20-30 cm dell'estremità superiore della colonna.

Foto di P. Ricci e G.M. Verderame



Danneggiamento nodo d'estremità

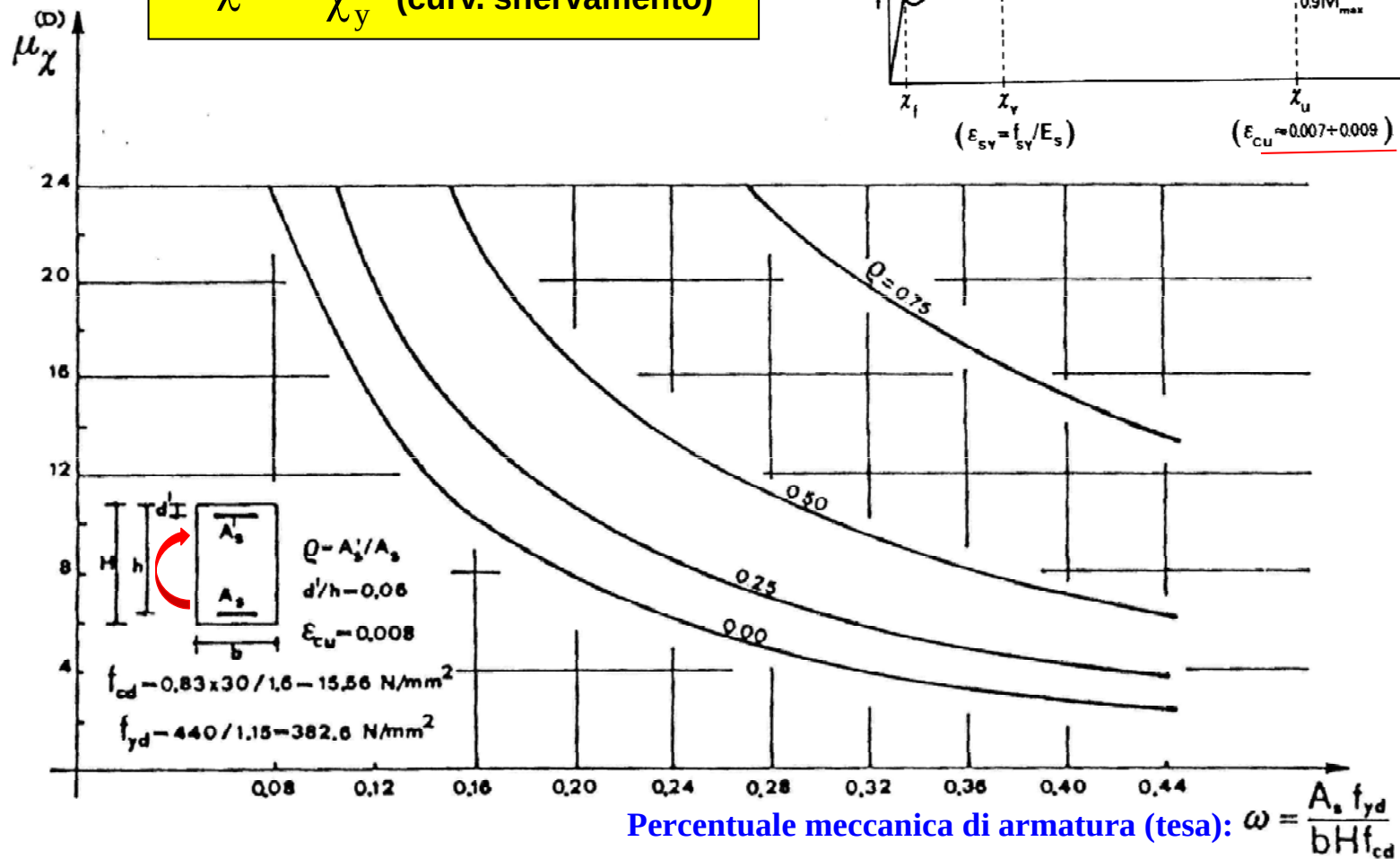
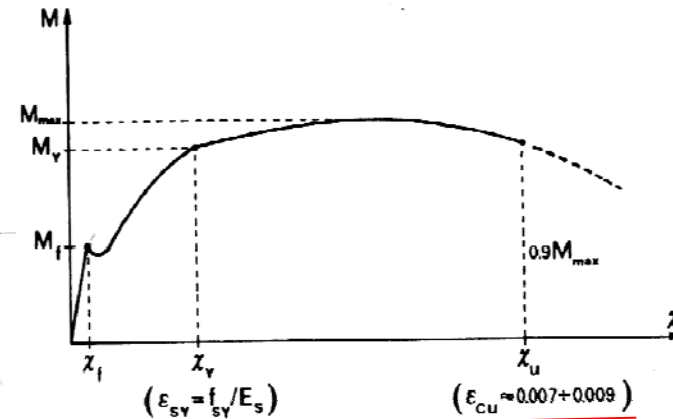
L'assenza di staffe nel nodo comporta lo **svergolamento delle barre longitudinali del pilastro**, l'espulsione del copriferro causato dall'ancoraggio delle barre longitudinali della trave ortogonale.

Foto di P. Ricci e G.M. Verderame

DUTTILITA' LOCALE

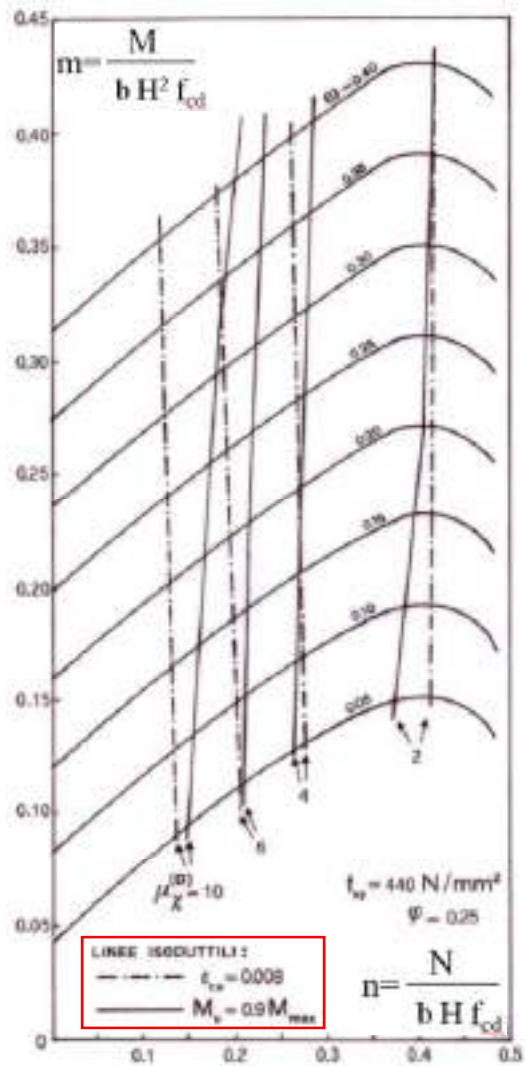
DUTTILITA' LOCALE - Sezione rettangolare semplicemente inflessa (trave)

$$\mu_{\chi} = \frac{\chi_u}{\chi_y} \quad \begin{array}{l} \text{(curvatura ultima)} \\ \text{(curv. snervamento)} \end{array}$$

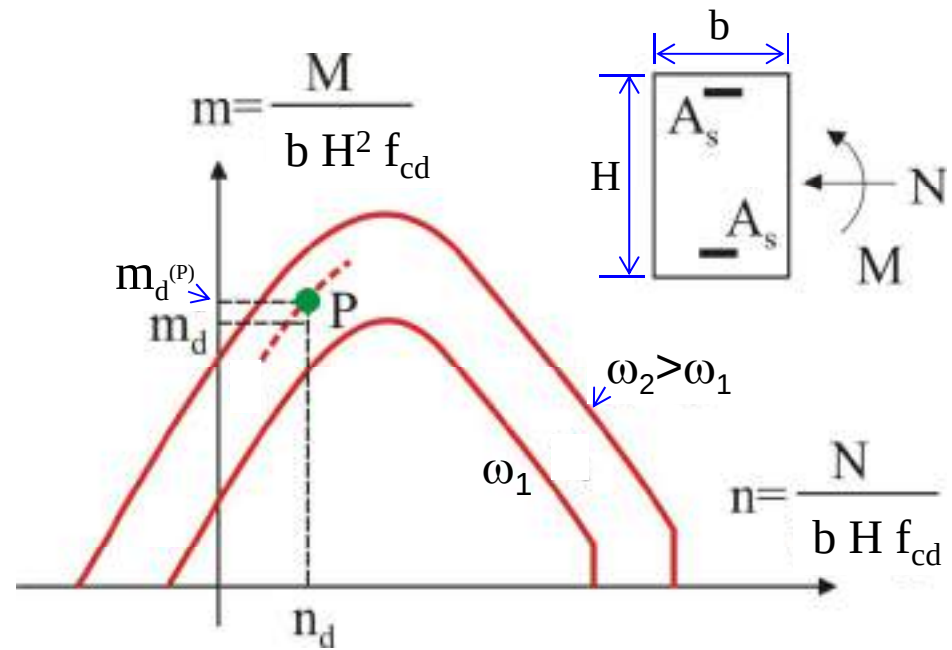


DUTTILITA' LOCALE

Sezione rettangolare presso-inflessa (pilastro)



(Benato, Giannini, Giuffrè, Masiello, Menegotto, 1979)

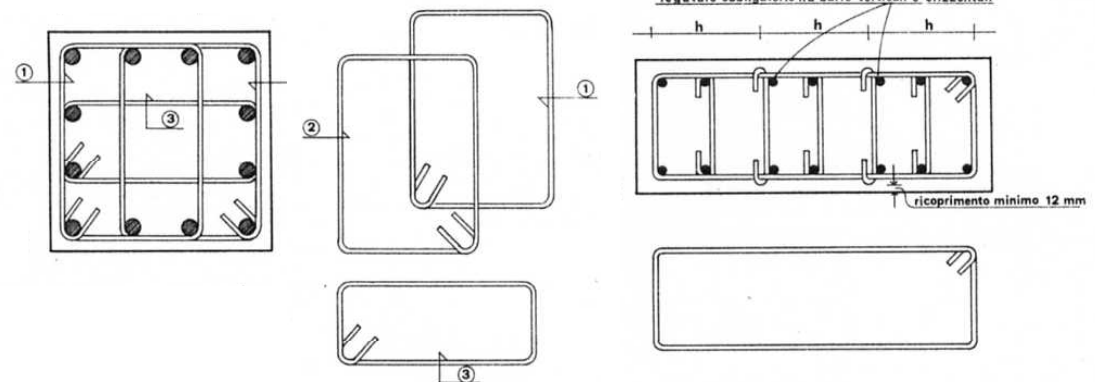
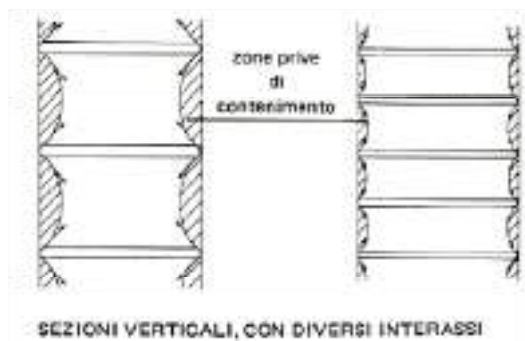
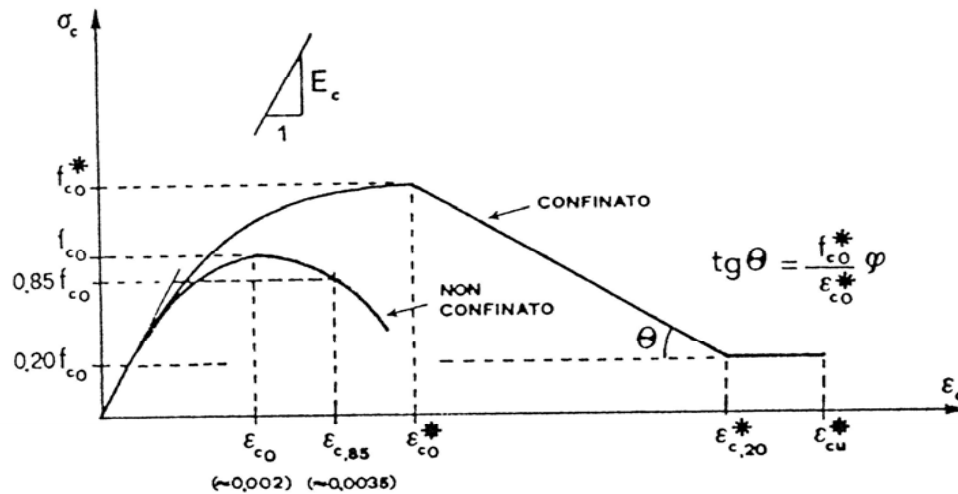


$\omega = A_s f_{sd} / b H f_{cd}$ percentuale meccanica di armatura (tesa)



DUTTILITA' LOCALE

Influenza della staffatura: confinamento del calcestruzzo



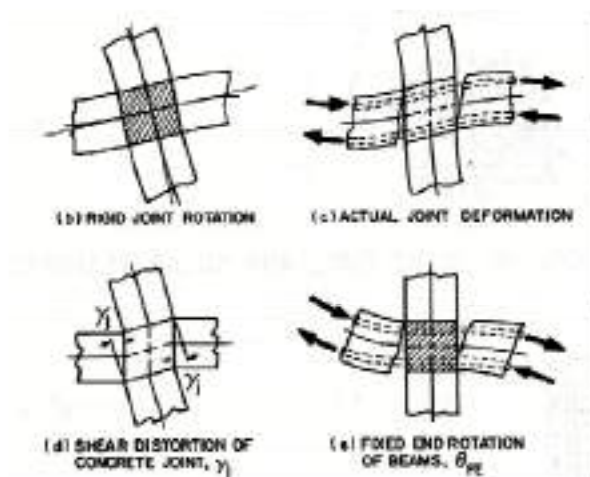
ADERENZA E ANCORAGGIO ARMATURE



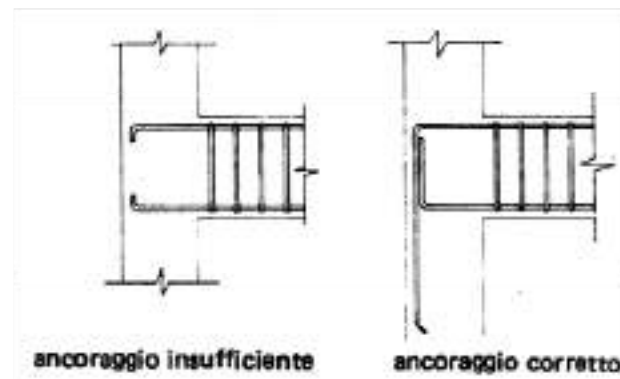
Inadeguata connessione
tra pila e fondazione di un viadotto

Terremoto di San Fernando (California), 1971

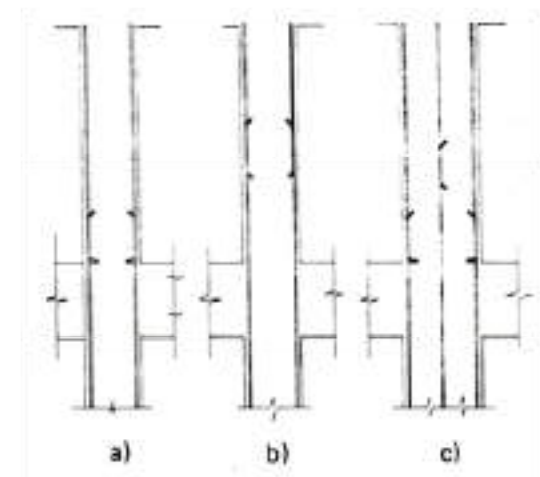
Strutture intelaiate in c.a.



Nodo interno



Nodo esterno



Pilastri

DANNI DELLE TAMPONATURE (Fragilità, Dissipazione energia)



Terremoto dell'Aquila, 6 aprile 2009



Bow-window:
Espulsione delle tamponature per
mancanza di collegamenti verticali.

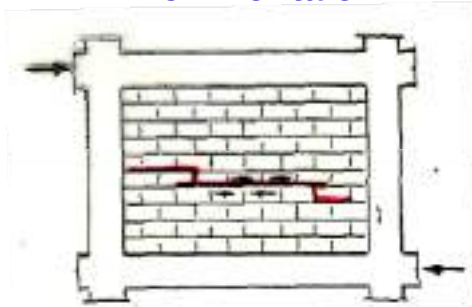
*Terremoto Irpino-Lucano (S. Angelo
dei lombardi), 23 novembre 1980*

TAMPONATURE

Meccanismi di rottura (fragile)

Nel piano

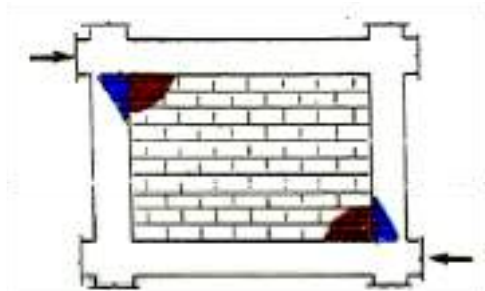
Rottura per scorrimento orizzontale



Rottura diagonale per trazione



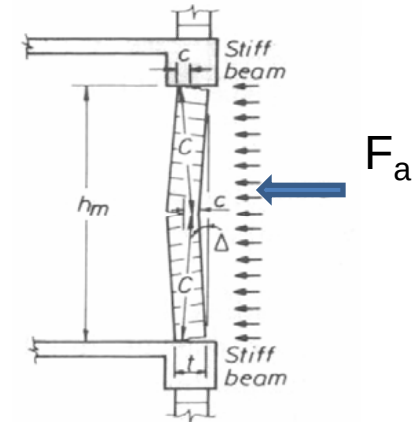
Rottura per schiacciamento locale degli spigoli



Rottura per schiacciamento al centro del pannello



Fuori piano



NTC 2018:

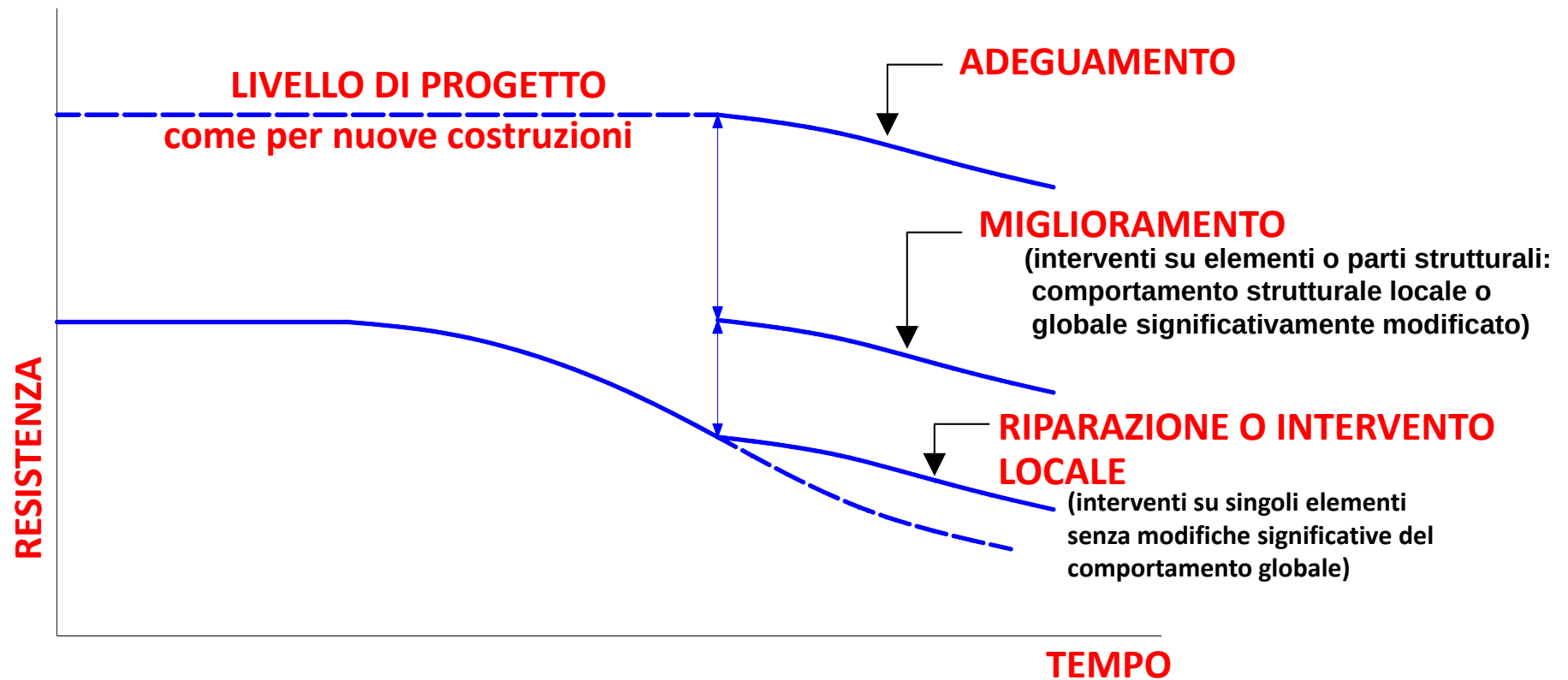
$$F_a = (S_a W_a) / q_a$$

$$S_a = \frac{S a_g}{g} \left[1.5 \left(1 + \frac{z}{H} \right) - 0.5 \right]$$

➡ Limitare spostamenti relativi di piano

2. Obiettivi da perseguire e strategie d'intervento per la riduzione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti

Obiettivi da perseguire e strategie d'intervento (Costruzioni esistenti)



NTC 2018 (cap. 8 – Costruzioni esistenti)

8.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

- **interventi di riparazione o locali:** *interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le* condizioni di sicurezza preesistenti;
- **interventi di miglioramento:** *interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere* i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3;
- **interventi di adeguamento:** *interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza* fissati al § 8.4.3.

Solo gli interventi di miglioramento ed adeguamento sono sottoposti a collaudo statico.

Per gli interventi di miglioramento e di adeguamento l'esclusione di provvedimenti in fondazione dovrà essere in tutti i casi motivata esplicitamente dal progettista, attraverso una verifica di idoneità del sistema di fondazione in base ai criteri indicati nel §8.3.

Qualora l'intervento preveda l'inserimento di nuovi elementi che richiedano apposite fondazioni, queste ultime dovranno essere verificate con i criteri generali di cui ai precedenti Capitoli 6 e 7, così come richiesto per le nuove costruzioni.

Per i beni di interesse culturale ricadenti in zone dichiarate a rischio sismico, ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del DLgs 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio", è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.

C8.5.4 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

Tabella C8.5.IV – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza, per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00

(*) A meno delle ulteriori precisazioni già fornite nel § C8.5.4.

C8.5.4 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

Le resistenze dei materiali cui riferirsi nelle formule di capacità degli elementi sono ricavate dalle resistenze medie (f_m), ottenute dalle informazioni disponibili e dalle prove in situ aggiuntive, dividendole per gli **FC** indicati nella Tabella C8.5.IV.

Gli **FC** possono essere valutati anche in modo differenziato per i diversi materiali, sulla base di considerazioni statistiche condotte su un insieme di dati significativo per gli elementi in esame e di metodi di comprovata validità.

Tabella C8.5.V – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di c.a.

Livello di Indagini e Prove	Rilievo (dei dettagli costruttivi) ^(a)	Prove (sui materiali) ^{(b)(c)}
	Per ogni elemento “primario” (trave, pilastro)	
<i>limitato</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m ² di piano dell’edificio, 1 campione di armatura per piano dell’edificio
<i>esteso</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m ² di piano dell’edificio, 2 campioni di armatura per piano dell’edificio
<i>esaustivo</i>	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m ² di piano dell’edificio, 3 campioni di armatura per piano dell’edificio

(c) Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con almeno il triplo di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive.

Il Capitolo 8 sulle Costruzioni Esistenti dell'NTC-18

- Nelle verifiche sismiche il livello di sicurezza della costruzione è quantificato attraverso il rapporto ζ_E tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione
 - L'azione sismica da adottare come parametro di confronto per la definizione di ζ_E è, di norma, l'accelerazione al suolo a_g S.
 - L'entità delle altre azioni contemporaneamente presenti è la stessa assunta per le nuove costruzioni, salvo quanto emerso sui carichi permanenti dalle indagini e salvo eventuali provvedimenti restrittivi sull'uso (carichi variabili)

Il Capitolo 8 sulle Costruzioni Esistenti

Interventi di miglioramento (§ 8.4.2)

- Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di ζ_E può essere minore dell'unità
- A meno di specifiche situazioni relative ai BBCC, a seguito degli interventi di miglioramento:
 - per le costruzioni di classe III (scuole) e IV $\rightarrow \zeta_E \geq 0.6$
 - per le costruzioni di classe III e II $\rightarrow \Delta\zeta_E \geq 0.1$
- Nel caso di interventi di miglioramento che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento,
- per la verifica del sistema di isolamento $\rightarrow \zeta_E \geq 1$

Il Capitolo 8 sulle Costruzioni Esistenti

Interventi di adeguamento (§ 8.4.3)

- È obbligatorio quando si intenda:
 - a) **sopraelevare** la costruzione;
 - b) **ampliare** la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;
 - c) **apportare variazioni** di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione, valutati secondo la combinazione caratteristica per carichi gravitazionali di cui alla Equazione 2.5.2, superiori al 10%.
 - Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;

INTERVENTI

```
graph TD; A[INTERVENTI] --> B[Con modifica di:]; A --> C[Con inserimento di:]; B --> B1[Masse]; B --> B2[Rigidezze]; B --> B3[Resistenze]; B --> B4[Duttilità]; C --> C1[Nuovi elementi o sistemi strutturali]; C --> C2[Isolamento]; C --> C3[Dissipazione supplementare];
```

Con modifica di:

- Masse
- Rigidezze
- Resistenze
- Duttilità

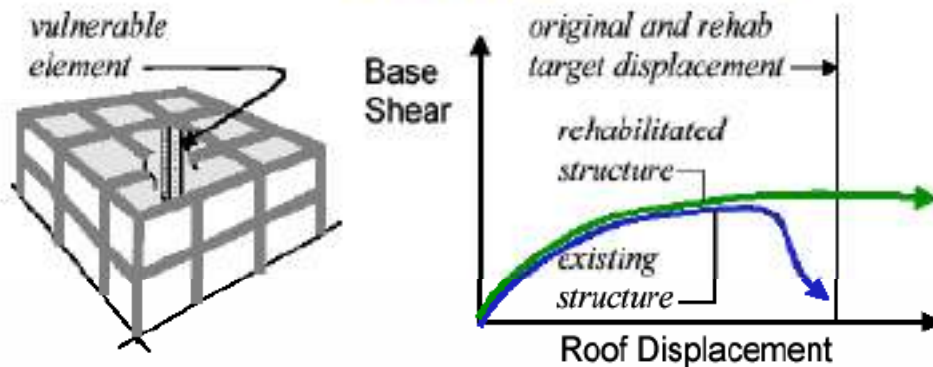
Con inserimento di:

- Nuovi elementi o sistemi strutturali
- Isolamento
- Dissipazione supplementare

STRATEGIA DI INTERVENTO

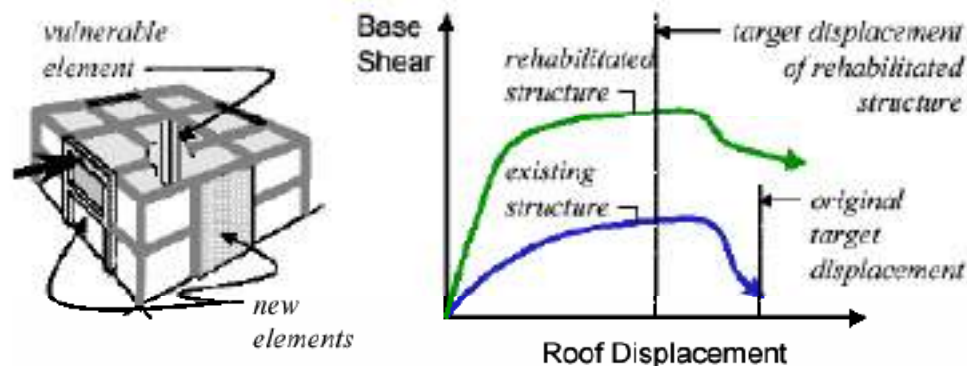
CARATTERISTICHE PECULIARI DELLE STRATEGIE DI INTERVENTO

- Intervento **locale** su componenti strutturali



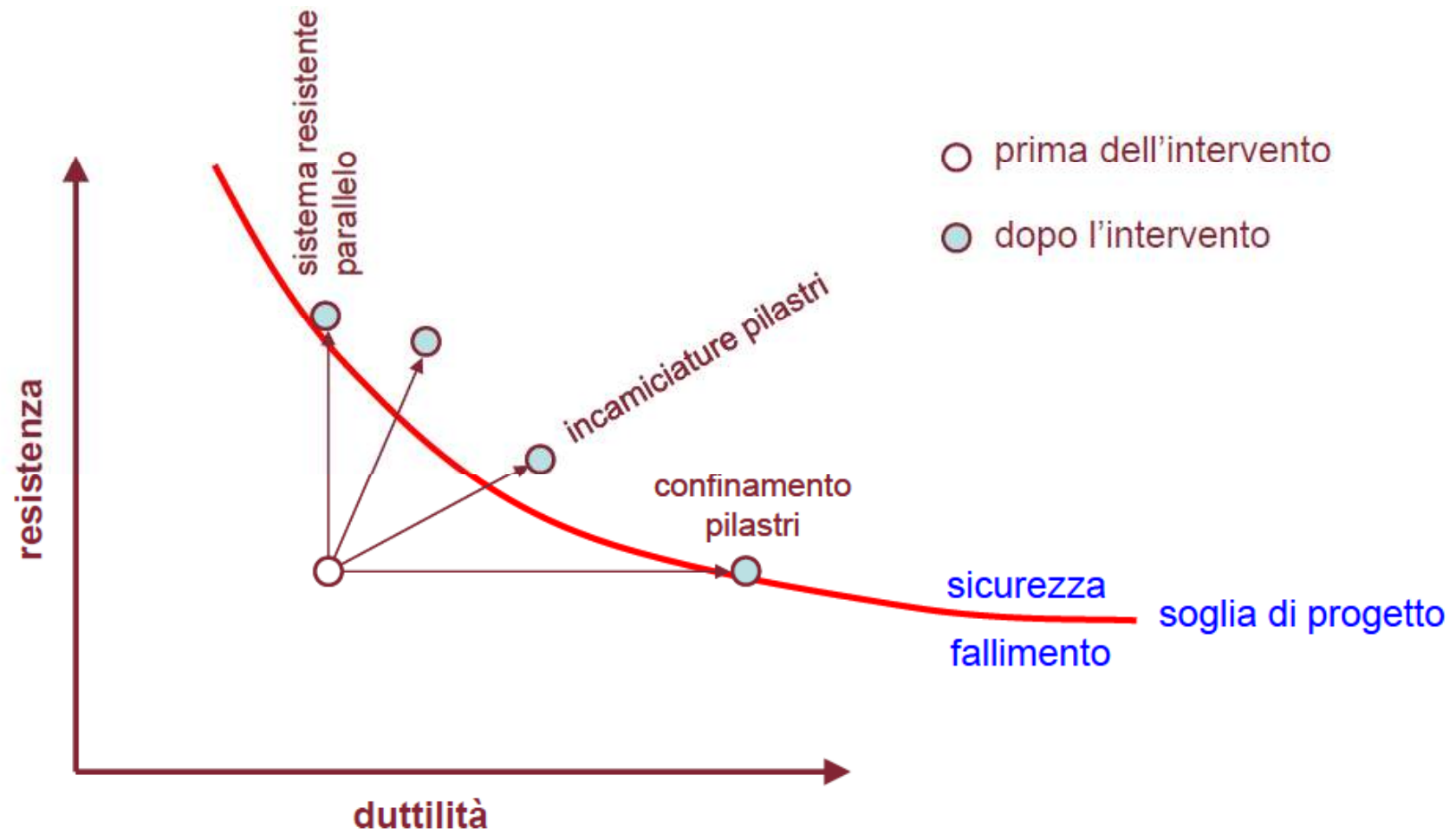
La capacità di deformazione degli elementi strutturali può essere incrementata passando da modi di **rottura fragili** a modi di **rottura duttili**

- Intervento **globale** sul sistema strutturale



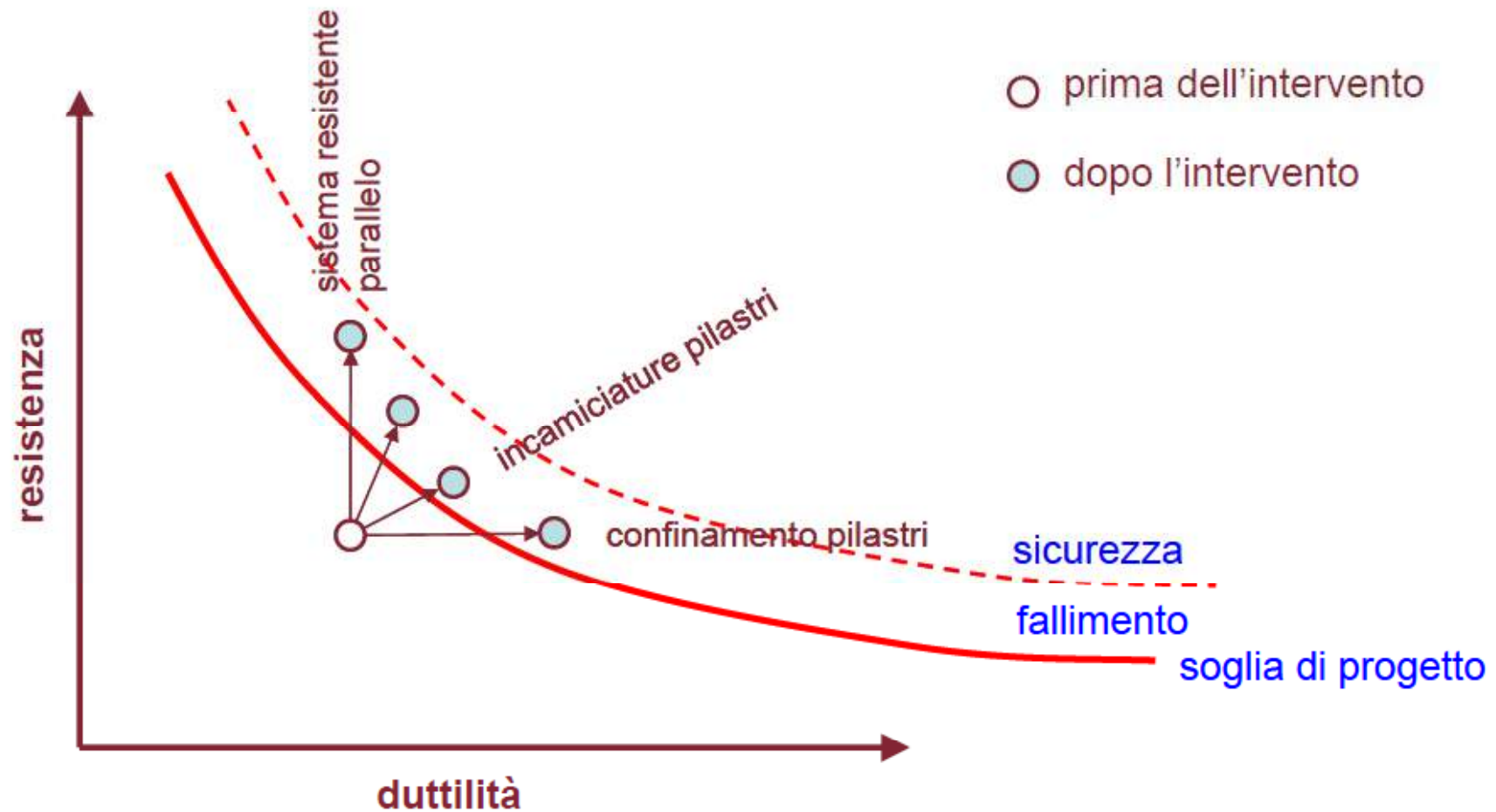
L'intervento tende a limitare la domanda di deformazione nei componenti **fragili** aumentando la rigidezza laterale, riducendo la massa, introducendo isolatori o dissipatori

Interventi di adeguamento



Interventi di miglioramento

- Costo minore ma tasso di fallimento annuale maggiore



3. Tecniche tradizionali e tecnologie moderne d'intervento (alcuni esempi con riferimento a edifici in c.a.)

a) AUMENTO DI RESISTENZA



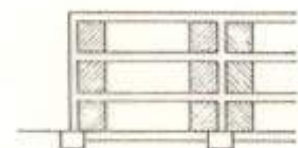
PARETE IN BLOCCHI



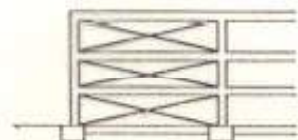
LASTRE IN C.A.



PANNELLI MULTIPLI

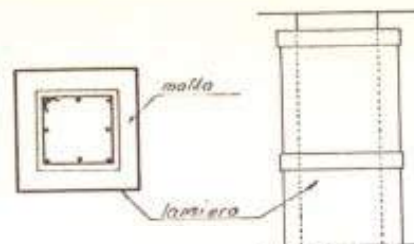


ALLARGAMENTO PILASTRI
CON MURI D'ALA

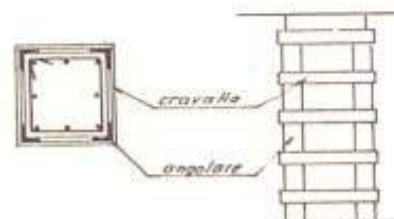


CONTROVENTI RETICOLARI

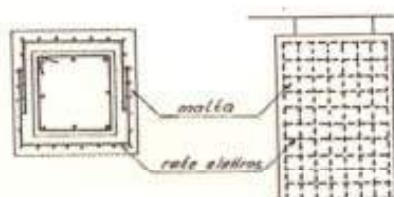
b) AUMENTO DI DUTTILITÀ



RIVESTIMENTO CONTINUO IN ACCIAIO



RIVESTIMENTO CON ANGOLARI E CRAVATTE



RIVESTIMENTO CON RETE ELETTROSALDATA
E MALTA

TECNICHE D'INTERVENTO LOCALE (duttività)



Angolari e
Calastrelli
metallici



Incamiciatura
in c.a.

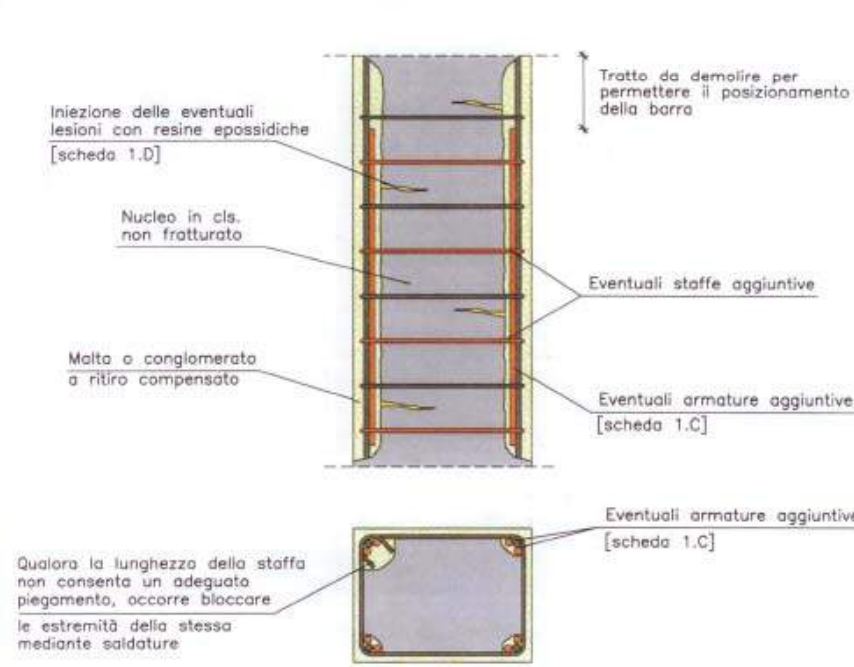


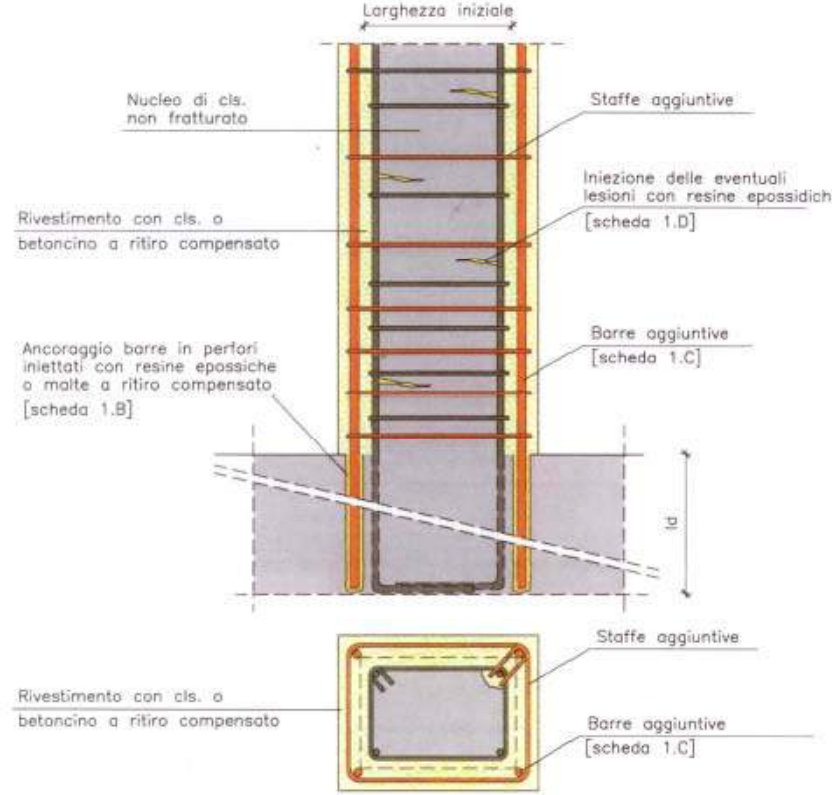
FRP

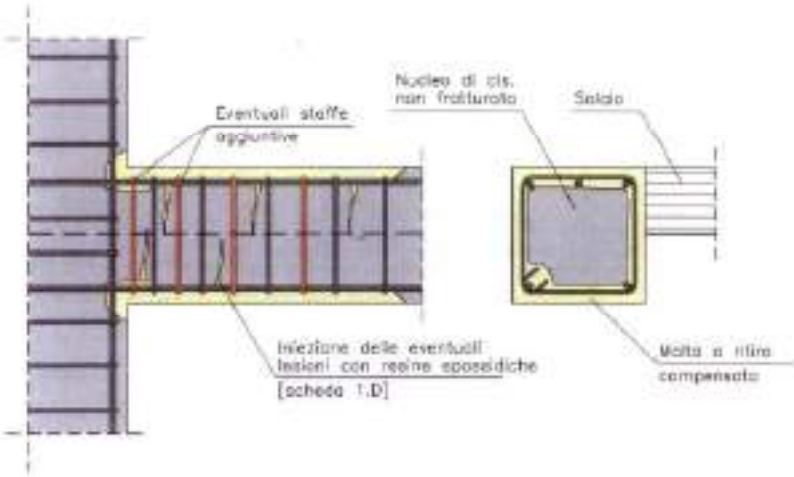


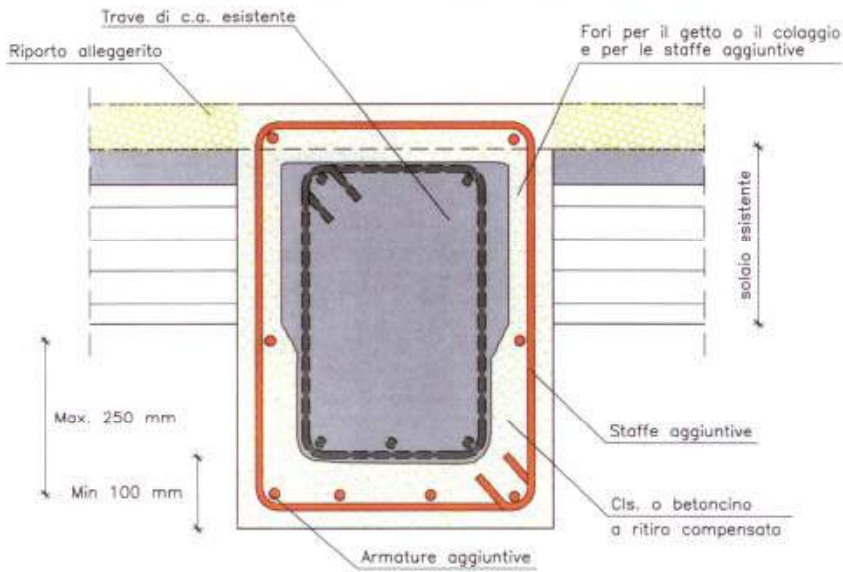
CAM

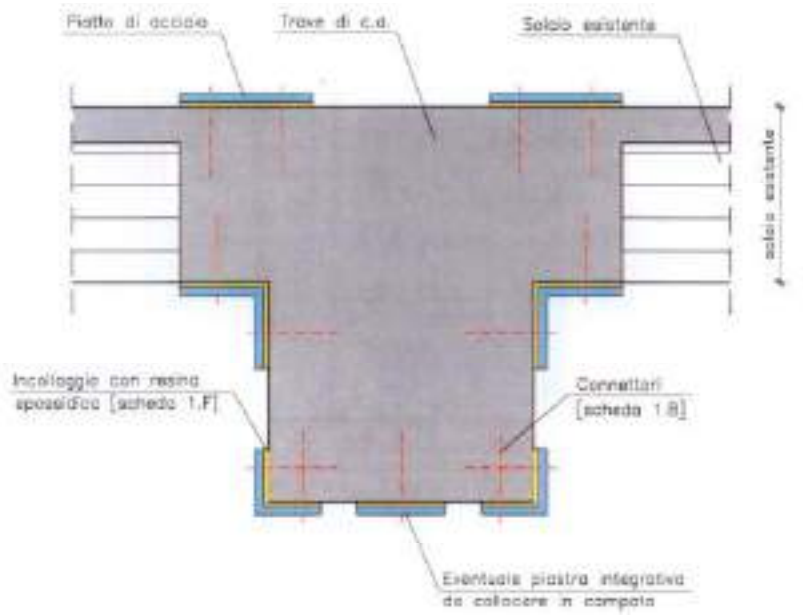


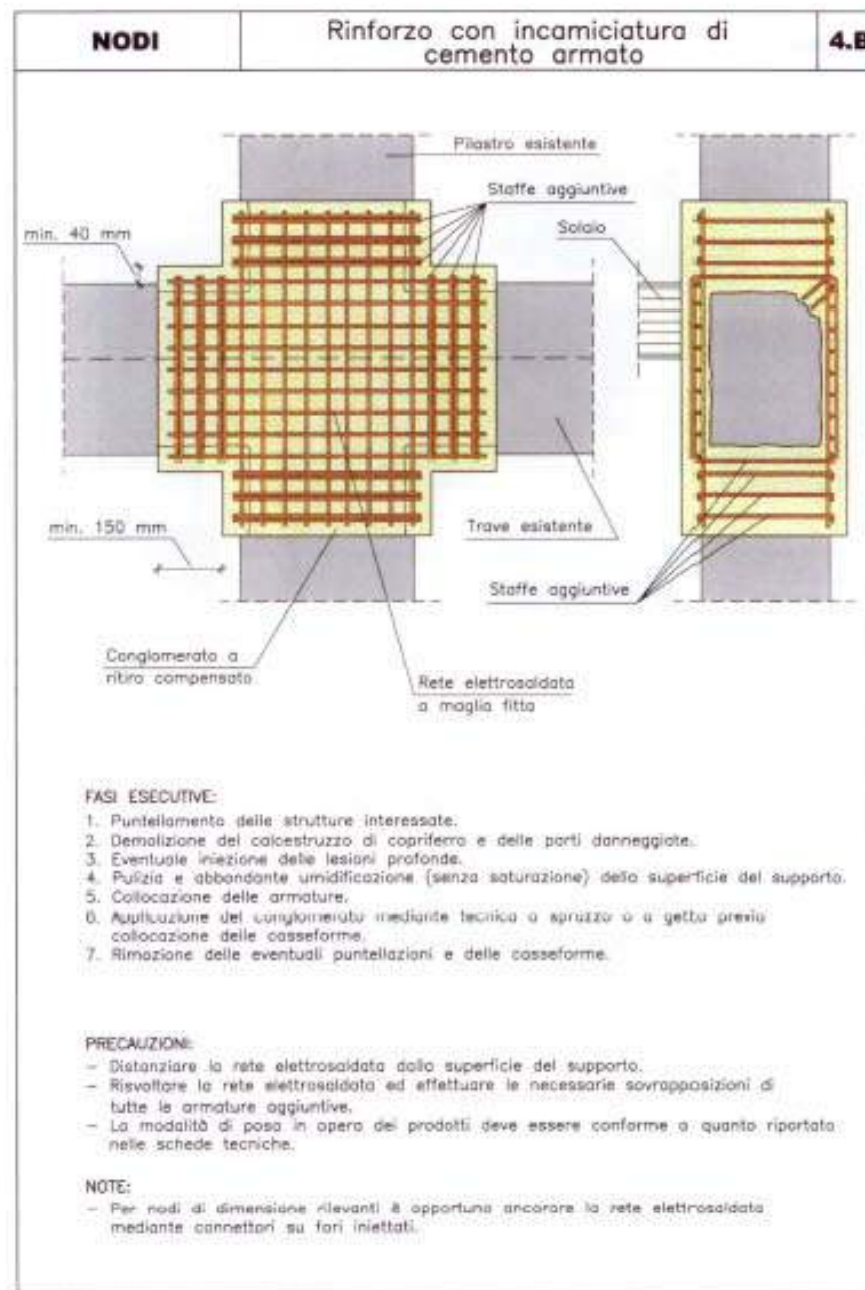
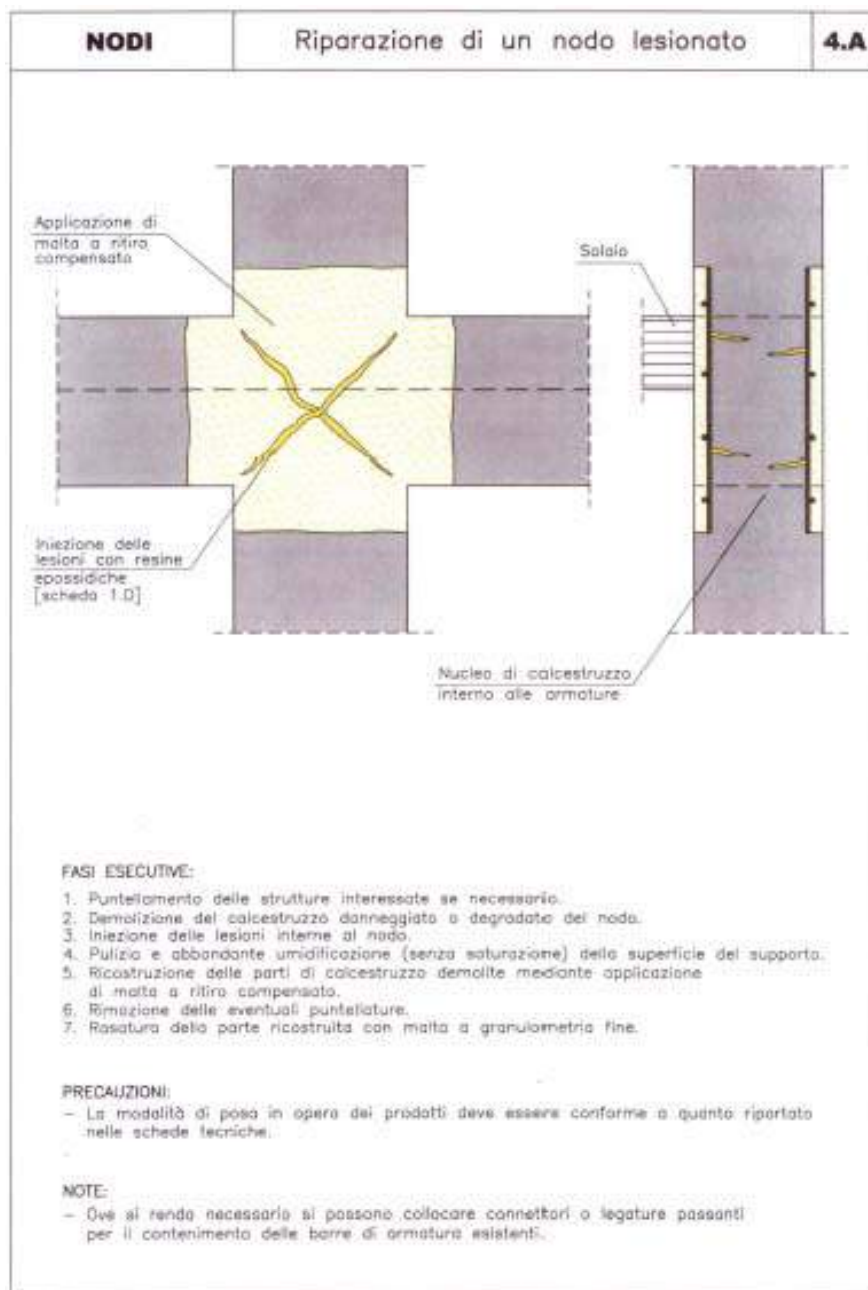
PILASTRI	Riparazione locale senza aumento di sezione	2.A
 Tratto da demolire per permettere il posizionamento della barra Qualora la lunghezza della staffa non consenta un adeguato piegamento, occorre bloccare le estremità della stessa mediante saldature FASI ESECUTIVE: 1. Puntellamento delle strutture interessate. 2. Demolizione di tutto il calcestruzzo lesionato e di una fascia superiore ed inferiore di altezza tale da consentire un adeguato ancoraggio delle barre aggiuntive; 3. Iniezione delle lesioni interne al nucleo. 4. Raddrizzamento delle barre longitudinali. 5. Collocazione delle barre aggiuntive. 6. Collocazione delle eventuali staffe aggiuntive. 7. Pulizia e abbondante umidificazione (senza saturazione) della superficie del supporto. 8. Applicazione della malta o conglomerato a ritiro compensato. 9. Rimozione delle puntellature. PRECAUZIONI: - La modalità di posa in opera dei prodotti deve essere conforme a quanto riportato nelle schede tecniche. NOTE: - Ove la larghezza del pilastro e la presenza di armature interne richieda legature, queste dovranno essere disposte in fasi preventivamente eseguiti.		

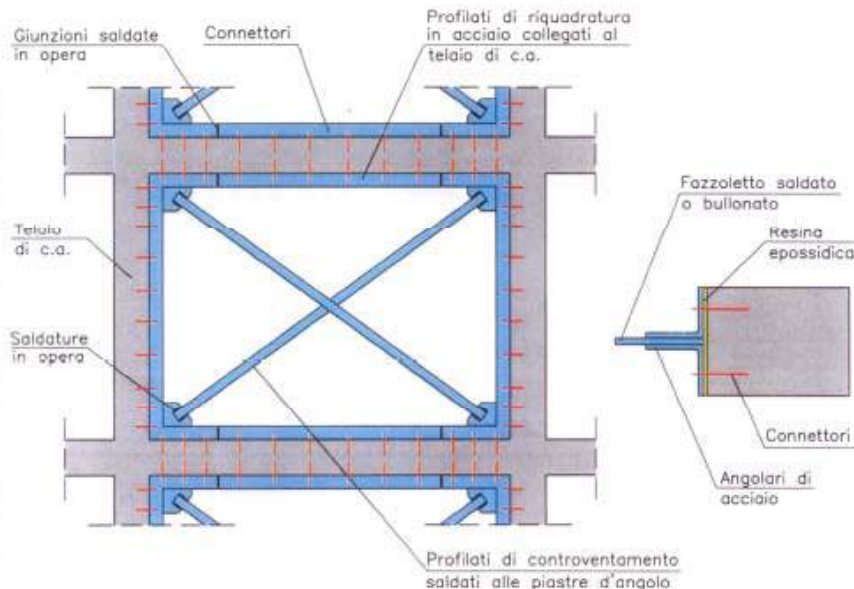
PILASTRI	Incamicatura con nuove armature	2.B
 Rivestimento con cls. o betoncino a ritiro compensato Ancoraggio barre in perfori iniettati con resine epossidiche o malte a ritiro compensato [scheda 1.B] FASI ESECUTIVE: 1. Puntellamento delle strutture interessate. 2. Demolizione del calcestruzzo lesionato. 3. Iniezione delle lesioni interne al nucleo. 4. Raddrizzamento delle barre longitudinali. 5. Collocazione delle barre e delle staffe aggiuntive. 6. Pulizia e abbondante umidificazione (senza saturazione) della superficie del supporto. 7. Applicazione del calcestruzzo o del betoncino a ritiro compensato. 8. Rimozione delle puntellature. PRECAUZIONI: - La modalità di posa in opera dei prodotti deve essere conforme a quanto riportato nelle schede tecniche. NOTE: - Per forti spessori del rivestimento è opportuna disporre una doppia orditura di armature. - In presenza di pilastri allungati bisogna disporre delle legature trasversali passanti su fori iniettati con resina epossidica. - In alternativa alle legature si possono utilizzare tasselli chimici ancorati al nucleo interno. - Ove non si abbia altezza sufficiente per l'ancoraggio (ld), aumentare il numero di barre o prevedere il bloccaggio su piastre contrapposte.		

TRAVI	Riparazione locale senza aumento di sezione	3.A
 FASI ESECUTIVE: 1. Puntellamento delle strutture interessate. 2. Demolizione di tutto il calcestruzzo danneggiato o degradato e di una fascia laterale di larghezza tale da consentire un adeguato ancoraggio delle eventuali barre aggiuntive. 3. Iniezione delle lesioni interne al nucleo. 4. Eventuale raddrizzamento delle barre longitudinali. 5. Collocazione delle eventuali barre aggiuntive. 6. Collocazione delle eventuali staffe aggiuntive. 7. Pulizia e abbondante umidificazione (senza saturazione) della superficie del supporto. 8. Applicazione della malta a ritiro compensato. 9. Rimozione delle puntellature. PRECAUZIONI: - Nel caso in cui si debbano eseguire tali opere controllare che non si togliano o danneggiino le armature interne al nodo. - La modalità di posa in opera dei prodotti deve essere conforme a quanto riportato nelle schede tecniche. NOTE: - Se la trave è principale, occorre eseguire demolizioni a tratti sui fianchi senza danneggiare le nervature del solaio.		

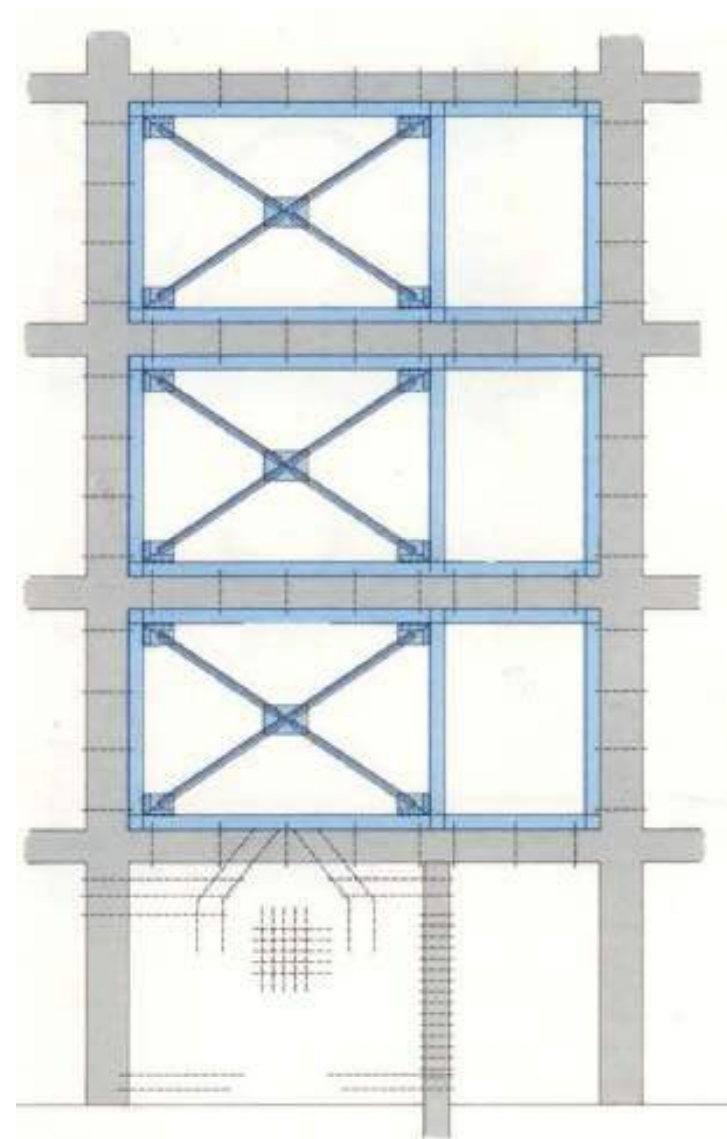
TRAVI	Incamiciatura totale con nuove armature	3.B
 FASI ESECUTIVE: 1. Puntellamento del solaio gravante sulla trave. 2. Demolizione parziale del copriferro della parte inferiore della trave. 3. Esecuzione di fori sul solaio per il getto integrativo anche mediante carotatrice min. Ø60 al passo previsto per le staffe aggiuntive. 4. Posizionamento delle staffe. 5. Collocazione armature aggiuntive e piegatura finale delle staffe. 6. Pulizia e abbondante umidificazione (senza saturazione) della superficie del supporto. 7. Realizzazione della cassaforma. 8. Esecuzione del getto da un foro e controllo del refluentamento del conglomerato dal foro simmetrico. 9. Scasseratura ad avvenuta maturazione. 10. Rimozione delle puntellature. PRECAUZIONI: - I fori per il getto non devono interferire con le eventuali nervature del solaio. - Le superfici devono essere pulite e depolverizzate. - Il getto deve essere eseguito con l'uso di conglomerati molto fluidi (eventuale uso di vibratori ad ago entro i fori). - Il passo delle staffe non deve interferire con le eventuali nervature del solaio. - La modalità di posa in opera dei prodotti deve essere conforme a quanto riportato nelle schede tecniche. NOTE: - Per il controllo del riempimento della suola inferiore possono essere disposti dei tubicini di sfiato attraverso la cassaforma. - Possono essere impiegati adesivi epossidici per l'aderenza vecchio-nuovo cls. - Se necessaria il riparto alleggerito può essere sostituito con una soletta in c.a. di rinforzo.		

TRAVI	Placcaggio con piatti di acciaio	3.C
 FASI ESECUTIVE: 1. Puntellamento della trave e, se necessario, delle strutture interessate. 2. Demolizione delle parti superficiali di calcestruzzo danneggiato o degradato. 3. Preparazione delle superfici del supporto. 4. Elingaggio delle lamiere. 5. Collocazione dei connettori. 6. Rimozione delle puntellature. 7. Protezione delle lamiere con vernice anticorrosiva. 8. Protezione delle lamiere dal fuoco con rivestimento isolante. PRECAUZIONI: - La spessore della resina di incollaggio deve essere ridotto ($\leq 2-3$ mm). - La modalità di posa in opera dei prodotti deve essere conforme a quanto riportato nelle schede tecniche. NOTE: - Se, nella trave, sono presenti fessurazioni occorre procedere prima alla loro iniezione e successivamente al placcaggio.		

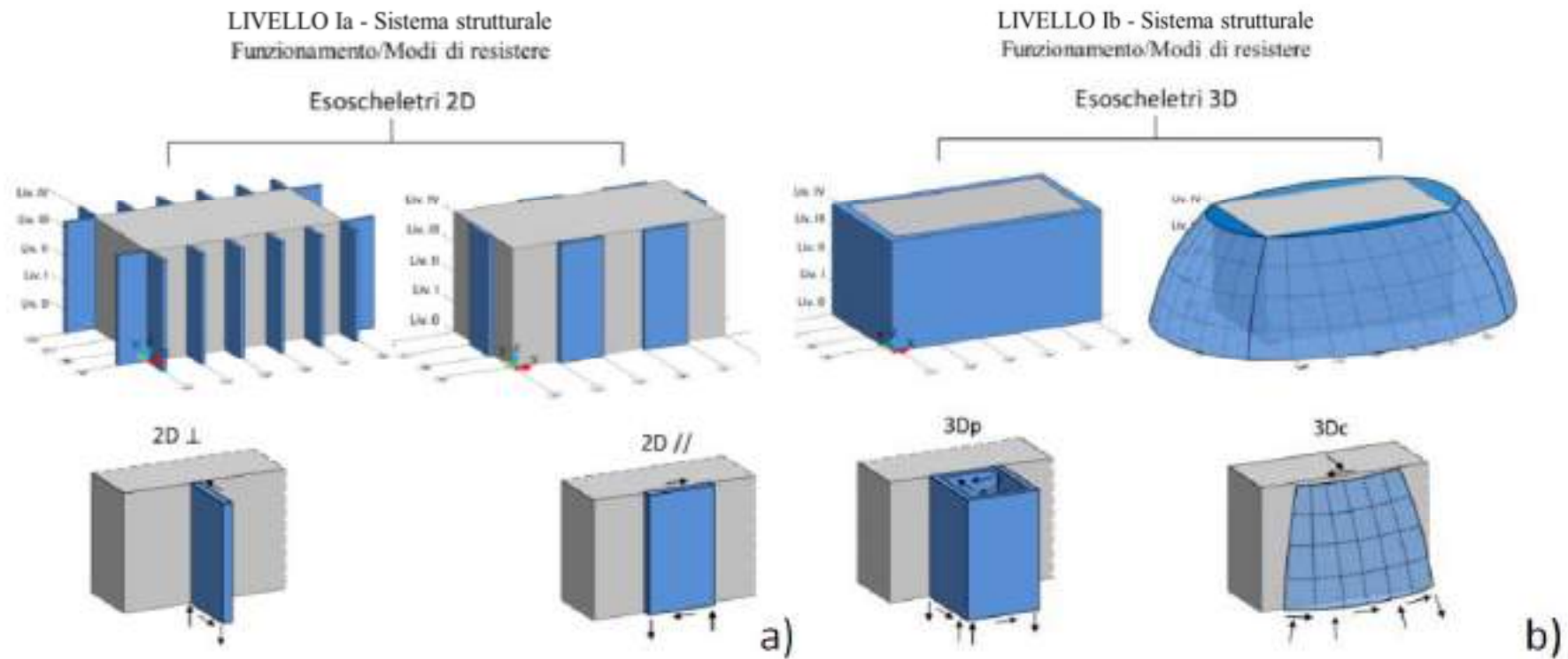


TELAI	Rinforzo con profilati di acciaio: controventamento a spessore di telaio	6.B
		
FASI ESECUTIVE: 1. Demolizione delle tamponature, dei tramezzi e dell'intonaco di rivestimento interno del telaio. 2. Preparazione delle superfici interessate dall'incollaggio dei profilati di riquadratura. 3. Collocazione in opera dei profilati di riquadratura. 4. Collocazione dei connettori realizzati con bulloni su perfori iniettati. 5. Iniezione dell'intercapedine tra la riquadratura ed il telaio con resina epossidica. 6. Collocazione dei profilati di controventamento saldati ai fazzoletti d'angolo. 7. Applicazione di prodotti protettivi anticorrosione. 8. Rivestimento delle strutture di acciaio e loro eventuale protezione dal fuoco.		
PRECAUZIONI: – Posizionare i profilati in modo che l'intersezione degli assi coincida con il centro del nodo. – La modalità di posa in opera dei prodotti deve essere conforme a quanto riportato nelle schede tecniche.		
NOTE: – I profilati di riquadratura possono consentire un notevole rinforzo di travi e pilastri del telaio per cui i connettori vanno conseguentemente dimensionati. – Si possono adottare schemi di controventamento diversi:		
		

ENDOSCHELETRI



ESOSCHELETRI



Scelta tipologica: Livello I - Sistemi a comportamento piano (a) e spaziale (b).

(Di Lorenzo et al., Ingegneria sismica 2020)



University Hall, Berkeley (California)
Intervento dopo Loma prieta 1989, Demolito 2004



Parcheggio, Berkeley (California)



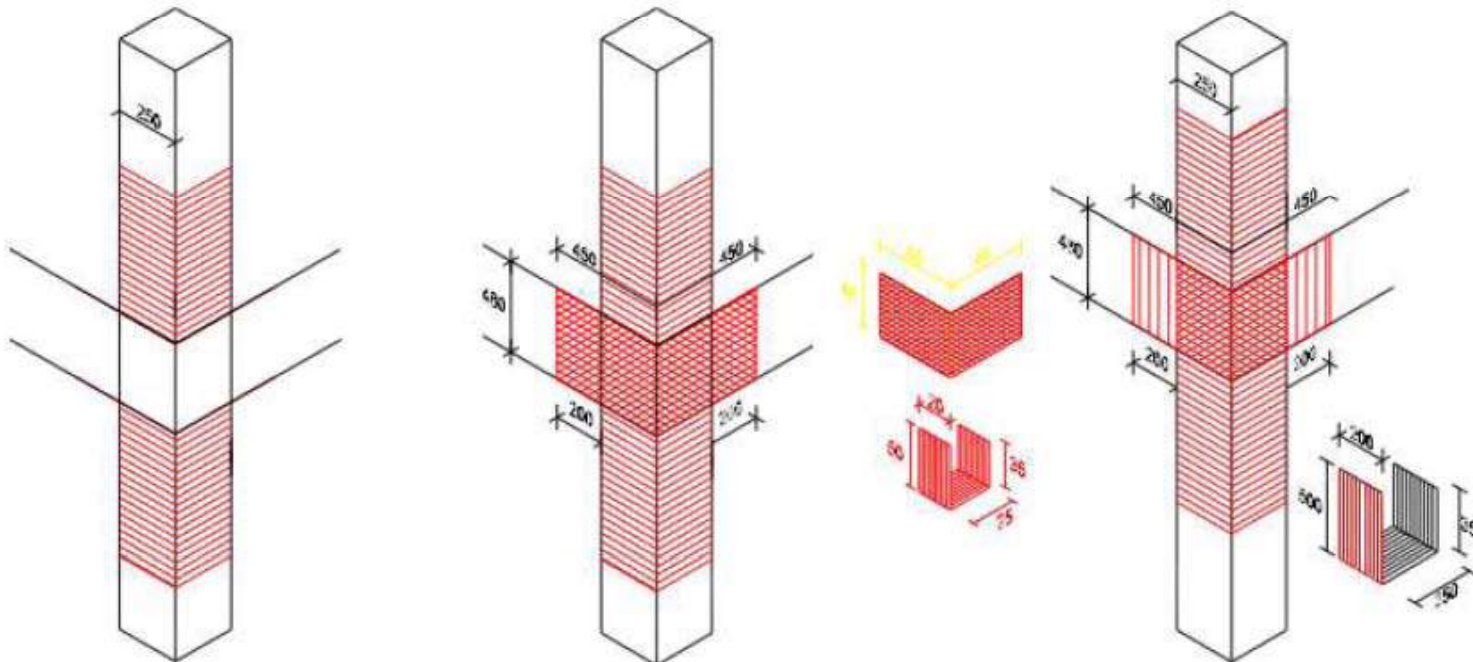
Sendai, Giappone
Nessun danno dopo il terremoto di Tohoku (2011)

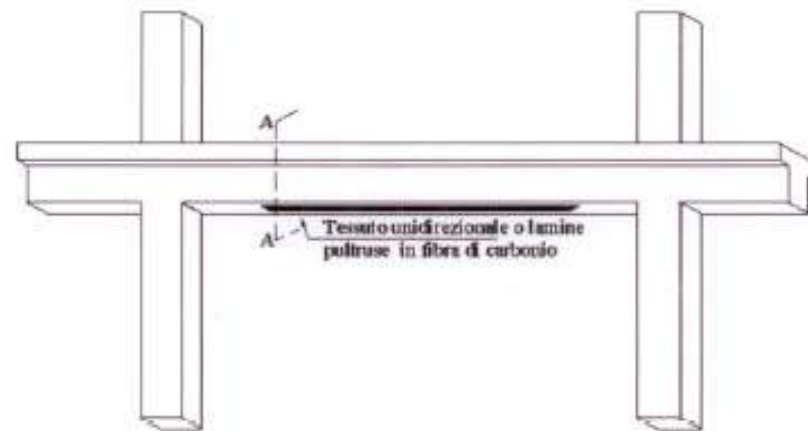


Uffici Magneti Marelli, Crevalcore (BO)

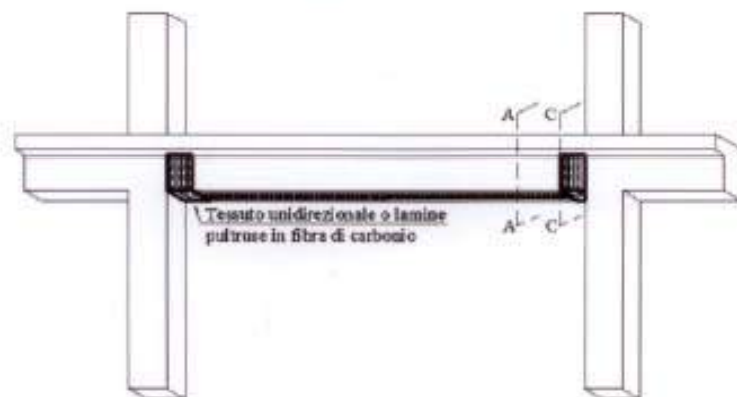
**FRP - materiali fibrorinforzati
a matrice polimerica**

RINFORZO NODI
(fragili)

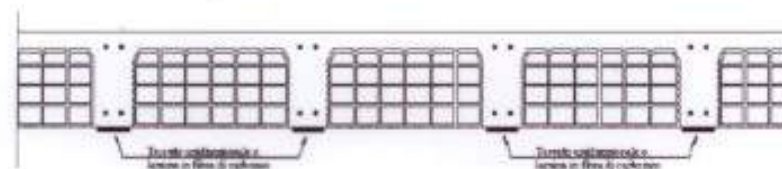




Rinforzo a flessione con compositi di una trave in c.a.

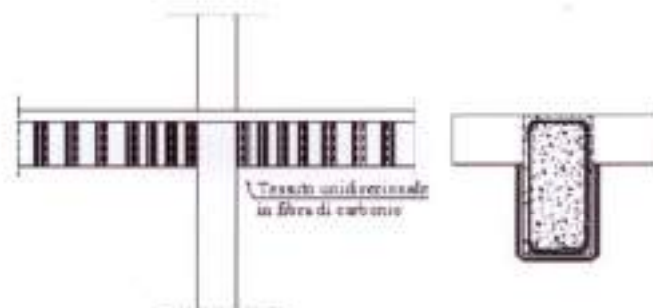


Rinforzo a flessione di una trave in c.a. con ancoraggi di estremità

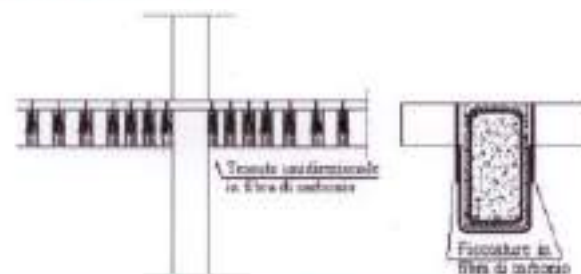


Rinforzo a flessione con compositi di un solaio latero-cementizio

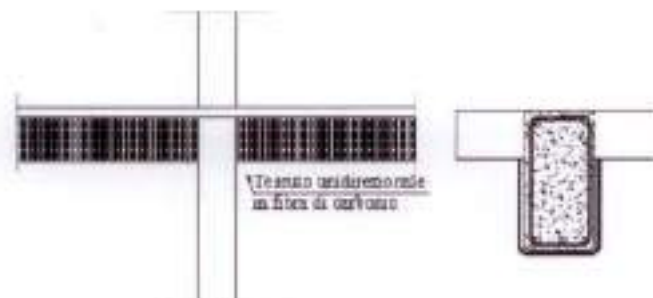
RINFORZO A TAGLIO CON COMPOSITI DI UNA TRAVE IN C.A.



(a) Rinforzo discontinuo

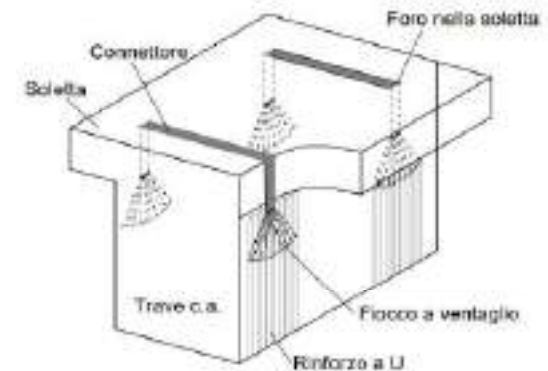
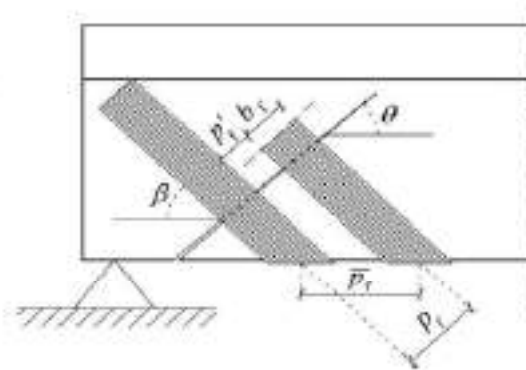
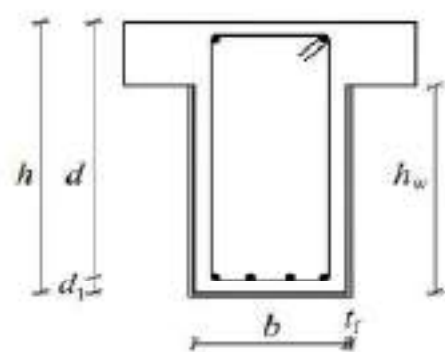
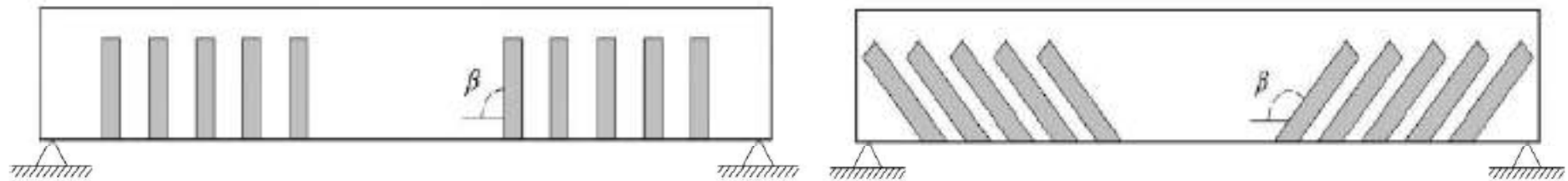


(b) Rinforzo discontinuo con floccature di ancoraggio



(c) Rinforzo continuo

FRP - INCREMENTO DI RESISTENZA A TAGLIO



Il Sistema CAM® [Cuciture Attive dei Manufatti]
consiste nella realizzazione di **TIRANTATURE** in **TENSIONE**
utilizzando **NASTRI DI ACCIAIO INOX** ($s \leq 1$ mm)
che **SINGOLARMENTE** cerchiano porzioni limitate di struttura.

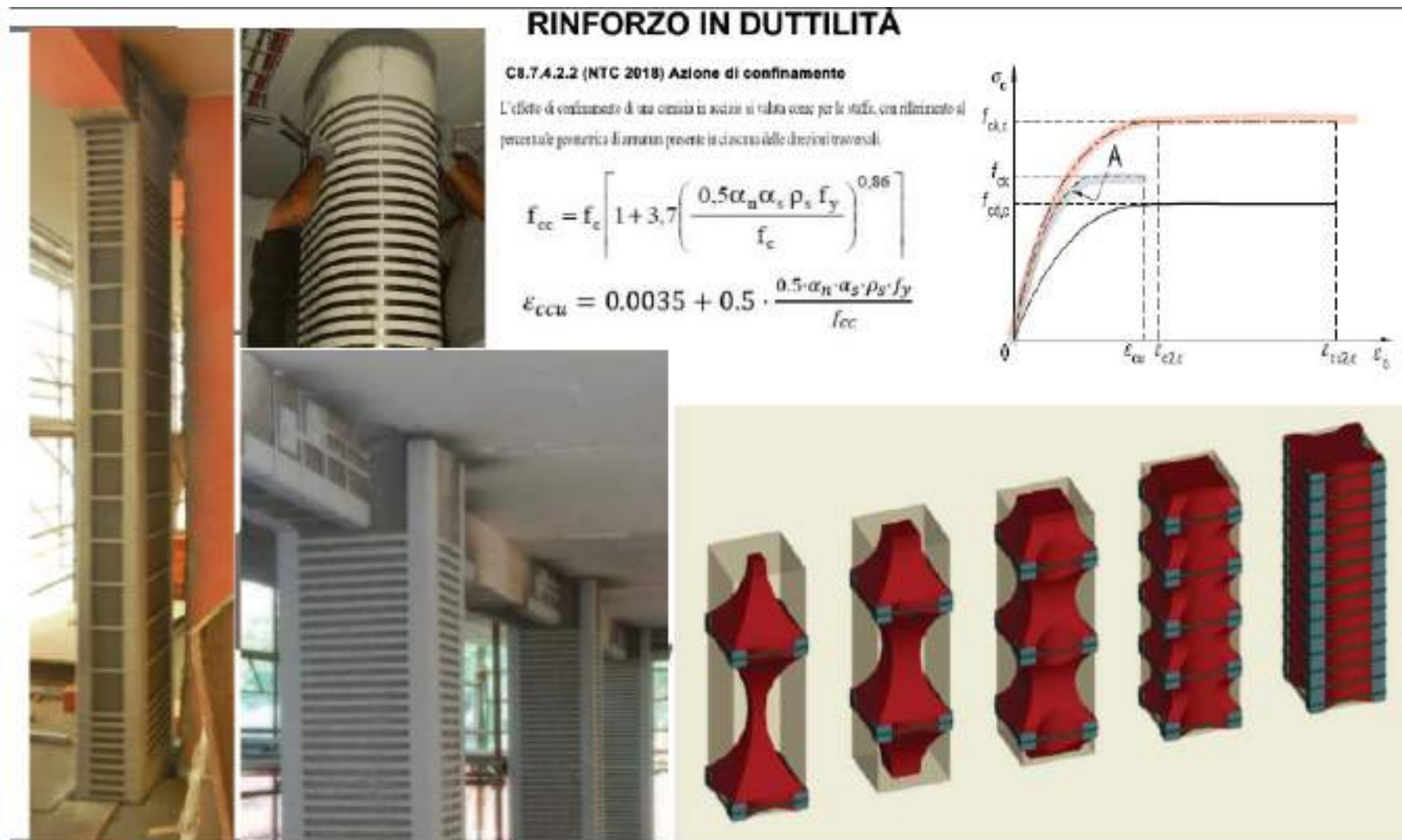
Elementi che compongono il Sistema CAM®

Nastro Inox 301 - 1.4318 EN10088-2 Rp 0.2% > 350 Mpa Sezione 19 x 0.90 mm (+/- 0.04 mm)
Nastro Inox 301 1/2 Crudo - 1.4318 2H C1000 EN10088-4 Rm $\geq$ 1000 Mpa Sezione 19 x 0.90 mm (+/- 0.04 mm)
Piastra Imbutita Inox 304/304L 1.4301/1.4307 EN10088-4 dimensioni 125x125x4 mm
Angolare Inox 304/304L 1.4301/1.4307 EN10088-4 dimensioni 62.5+62.5x4 lunghezza 125 mm
Angolare Inox 304/304L 1.4301/1.4307 EN10088-4 dimensioni 100+100x4 lunghezza 300 mm
Sigilli inox 301 - 45 x 0,9 mm
Malta cementizia bicomponente Master Emaco S950 per posa angolari e piastre



(Cortesia Ing. Farinelli, Domus Srl)

CAM - Cuciture Attive dei Manufatti



(Cortesia Ing. Farinelli, Domus Srl)

il contributo si somma a quello fornito dalle staffe pre-esistenti

RINFORZO PER MECCANISMO FRAGILE DI ROTTURA A TAGLIO

C8A.7.2.1 Aumento della resistenza a taglio

Il contributo della camicia alla resistenza a taglio può essere considerato aggiuntivo alla resistenza preesistente purché la camicia rimanga interamente in campo elastico. Tale condizione è necessaria affinché essa limiti l'ampiezza delle fessure e assicuri l'integrità del conglomerato, consentendo il funzionamento del meccanismo resistente dell'elemento preesistente.

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd} + V_{Rsd,CAM})$$

$$V_{Rsd,CAM} = 0.5 \cdot 0.9 \cdot d_n \cdot \frac{2 \cdot t_{nt} \cdot b_n}{p_n} \cdot f_{yd,CAM} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot sen\alpha$$

L'intervento sulle travi può essere realizzato:

- A tutta altezza di trave, abbracciando l'intera sezione: i nastri attraversano il solaio
- Ad altezza parziale: forando la trave immediatamente al di sotto del solaio

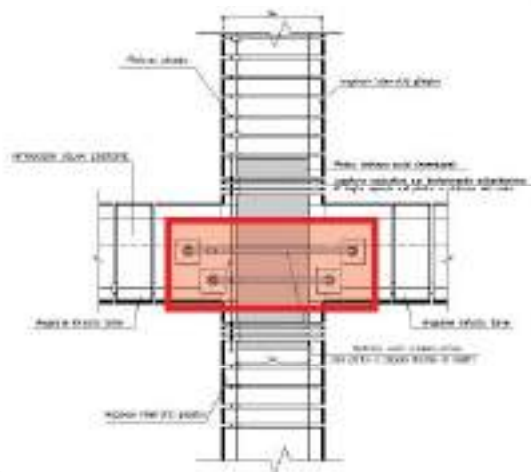


(Cortesia Ing. Farinelli, Domus Srl)

RINFORZO PER MECCANISMO FRAGILE DI ROTTURA A TAGLIO DEL NODO TRAVE-PILASTRO

Il consolidamento del NODO tramite Sistema CAM®

- I **nastri** disposti su più ricorsi (in genere da 1 a 3) e in sovrapposizione (non più di 6 – 8 nastri) contrastano l'apertura delle fessure e, successivamente alla formazione delle lesioni, sono armatura aggiuntiva (**staffe chiuse di nodo**)
- Se necessario si applica un **piatto metallico** connesso agli angolari superiori ed inferiori.
non è armatura in questa configurazione ma rappresenta un contributo per la **verifica 'a compressione'** della biella in calcestruzzo.

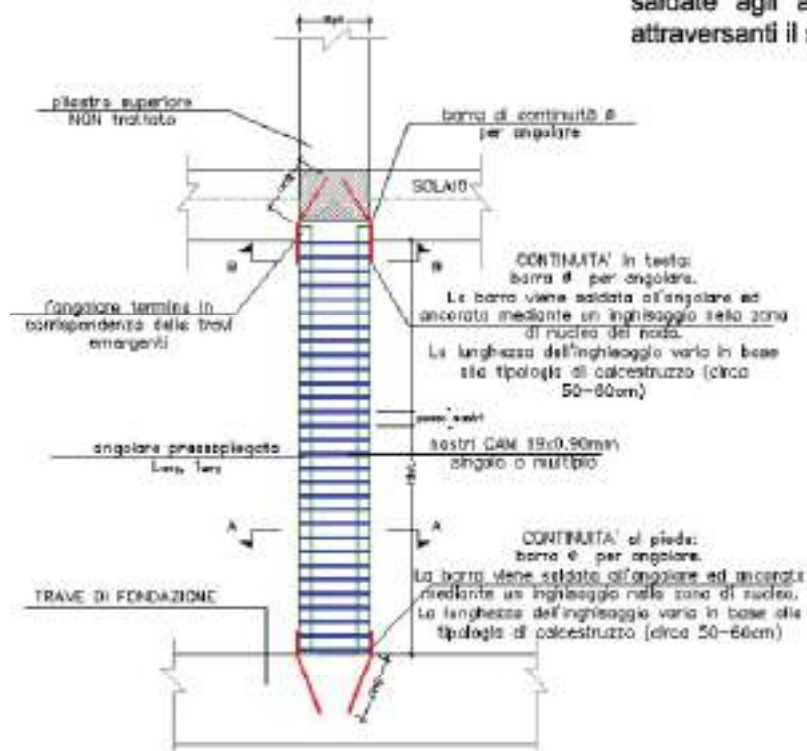


(Cortesia Ing. Farinelli, Domus Srl)

RINFORZO A PRESSOFLESSIONE

Rinforzo Pilastro
(Taglia, Confinamento ed
Integrazione di Armatura a flessione)

PROSPETTO



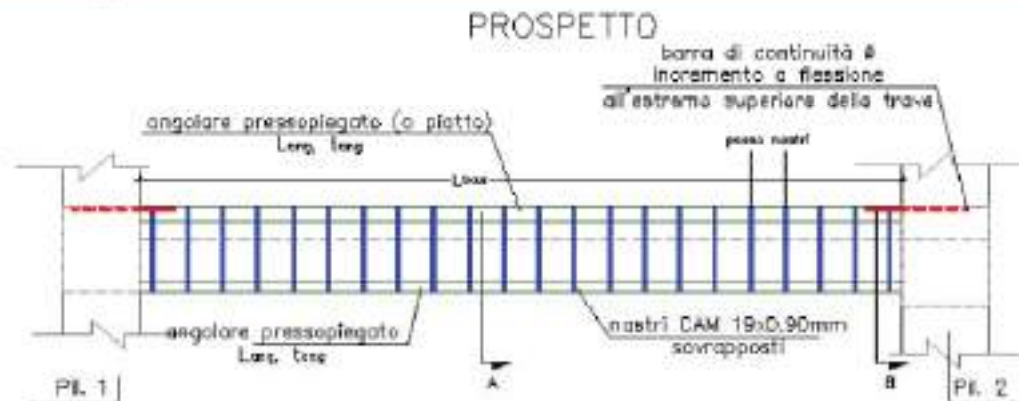
ATTENZIONE! Affinché si possa considerare il contributo dell'**angolare** come **armatura** aggiuntiva a **flessione** è necessario che nella sezione di interruzione dello stesso venga garantita la **continuità d'armatura**. una soluzione è quella di impiegare barre da c.a. saldate agli angolari ed inghissate in fondazione o attraversanti il solaio.

N.B.: la forza da trasferire per aderenza al supporto è sempre legata alle legature CAM che tengono in posizione l'angolare. Ne risulta quindi che ad un forte intervento di incremento di armatura longitudinale deve **SEMPRE** associarsi un forte intervento di legature trasversali.



(Cortesia Ing. Farinelli, Domus Srl)

RINFORZO A PRESSOFLESSIONE



N.B.: nel caso in cui la carenza sia per carichi statici, l'angolare disposto inferiormente può essere considerato come armatura flessionale solo nel caso in cui sia garantita la lunghezza d'ancoraggio.



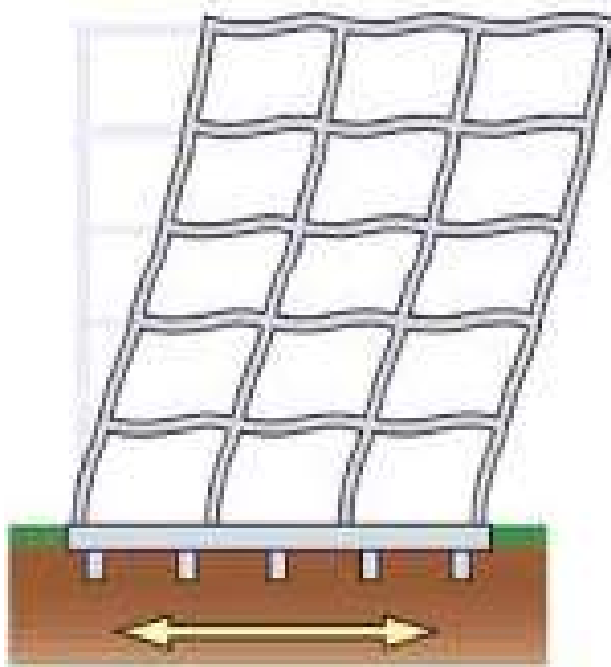
(Cortesia Ing. Farinelli, Domus Srl)

Posa in opera piastre imbutite e Tiraggio dei nastri

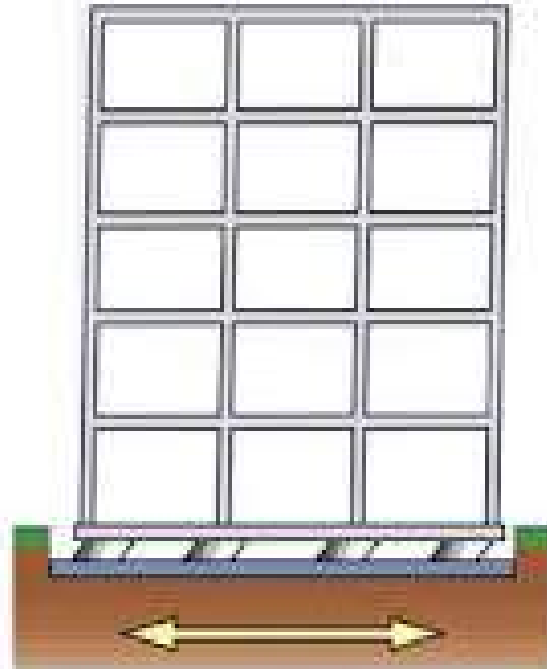


(Cortesia Ing. Farinelli, Domus Srl)

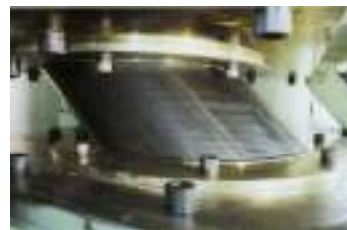
ISOLAMENTO



BASE FISSA



BASE ISOLATA

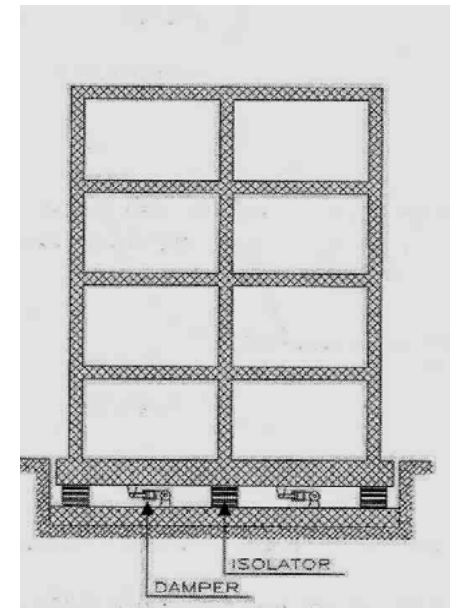
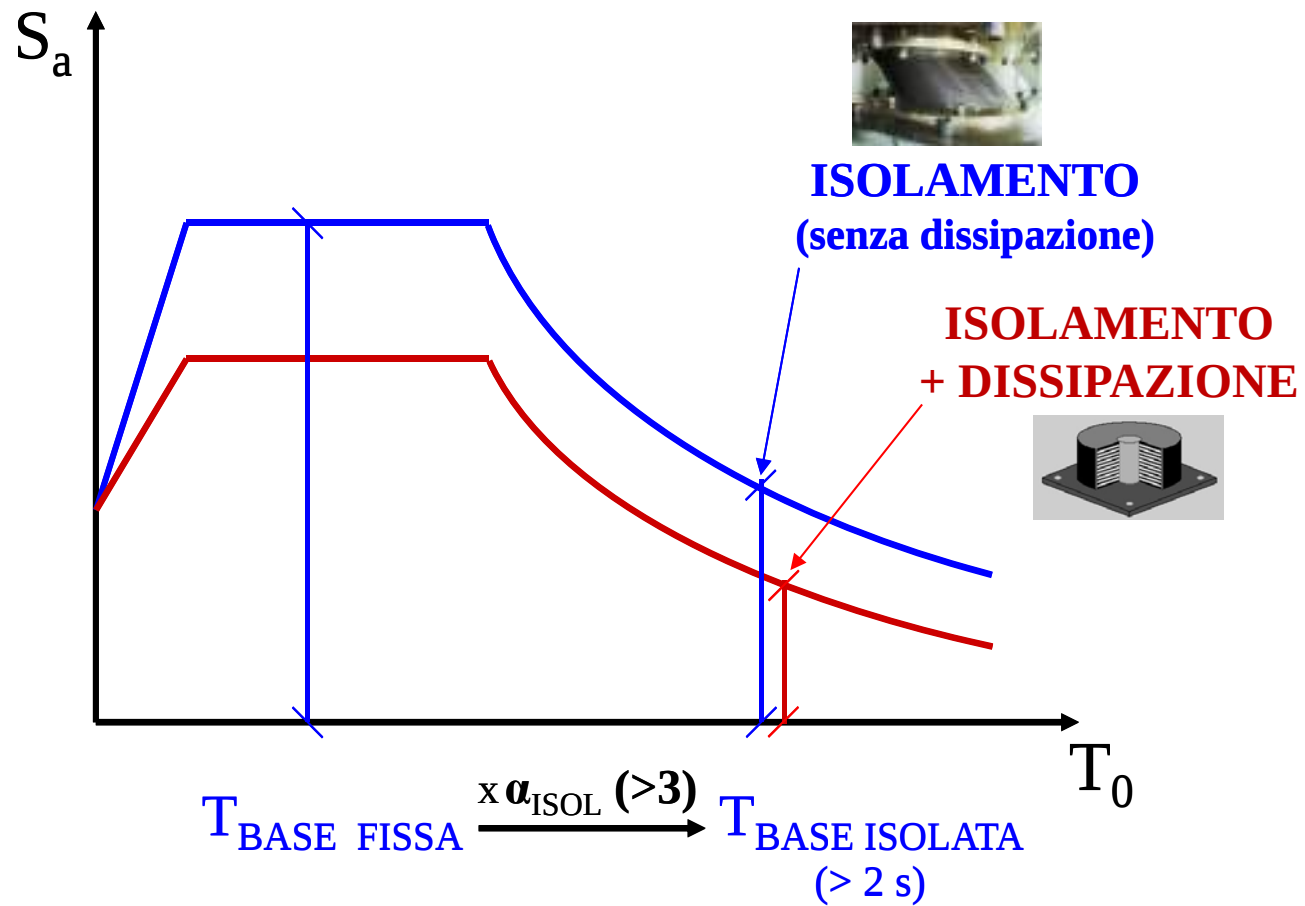


Isolatore
elastomerico



Isolatore a “pendolo
scorrevole”

ISOLAMENTO E DISSIPAZIONE

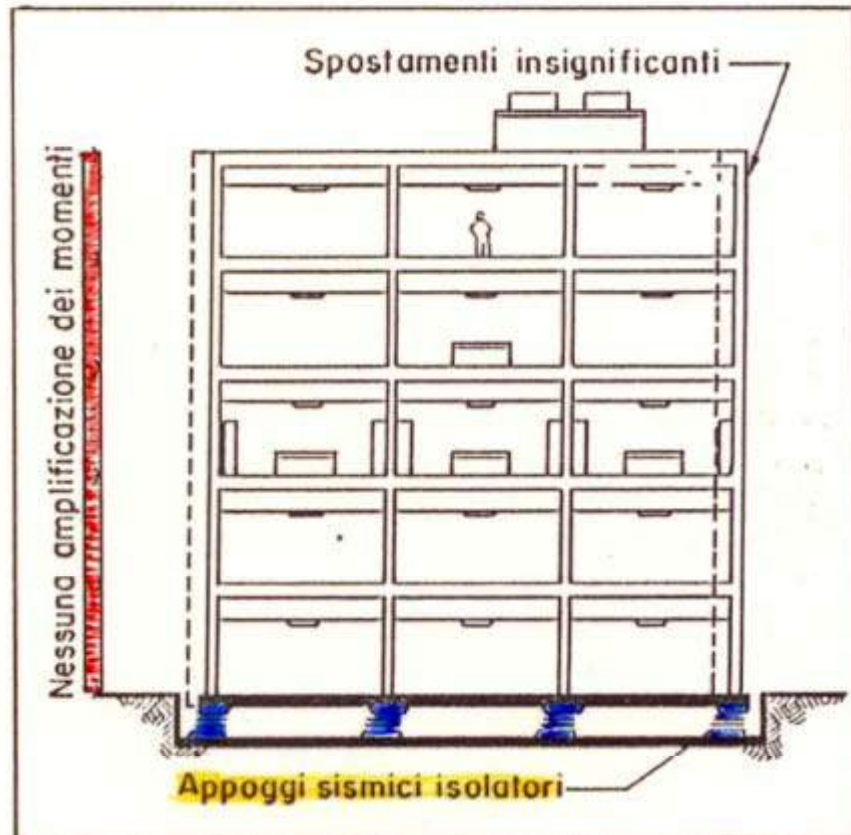
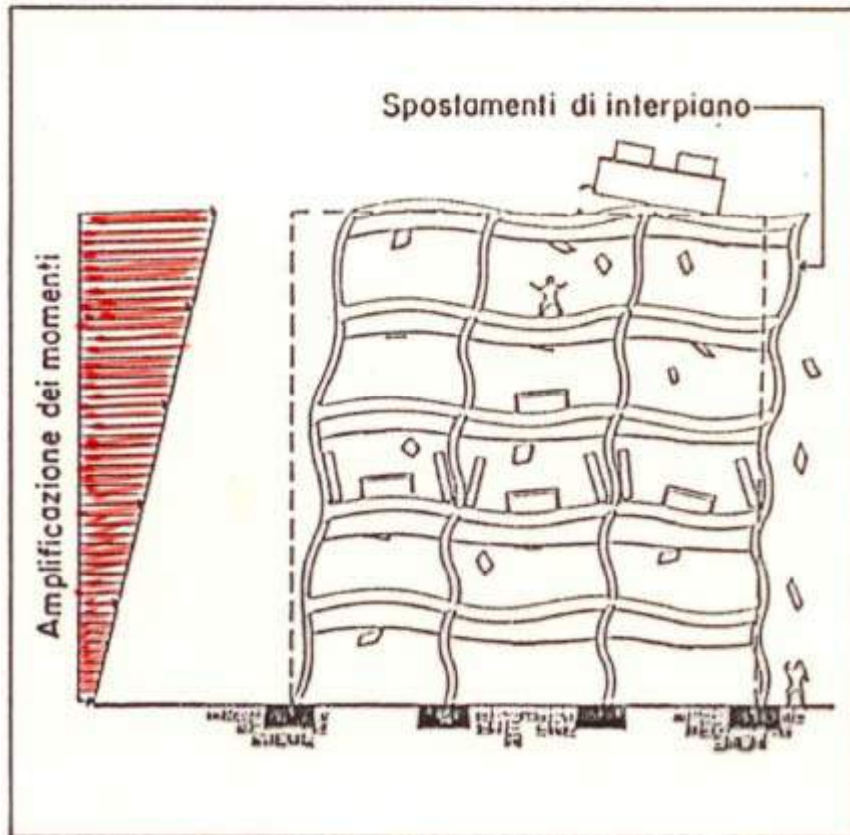


BASE FISSA vs. BASE ISOLATA

Rigidezza isolatori

$$K_{iso} = 4\pi^2 m / T_{iso}^2$$

(approssimazione
sovrastuttura rigida)

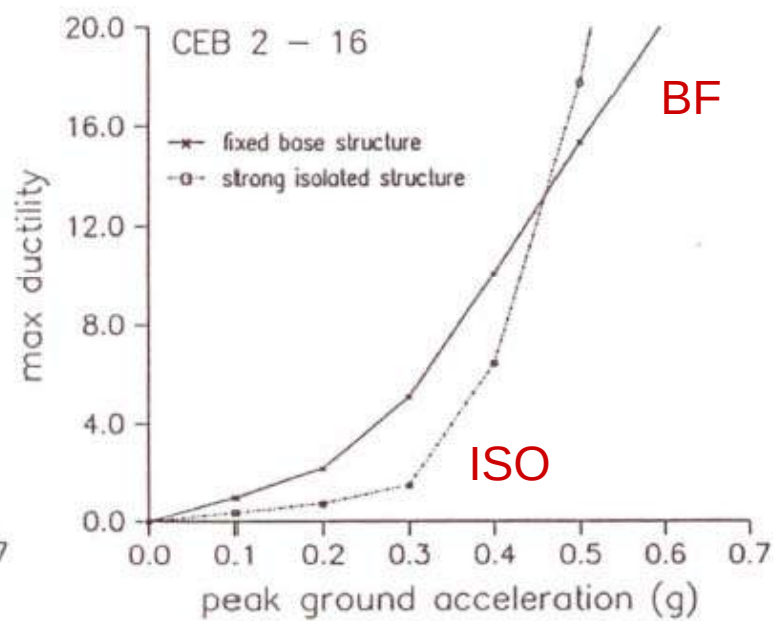
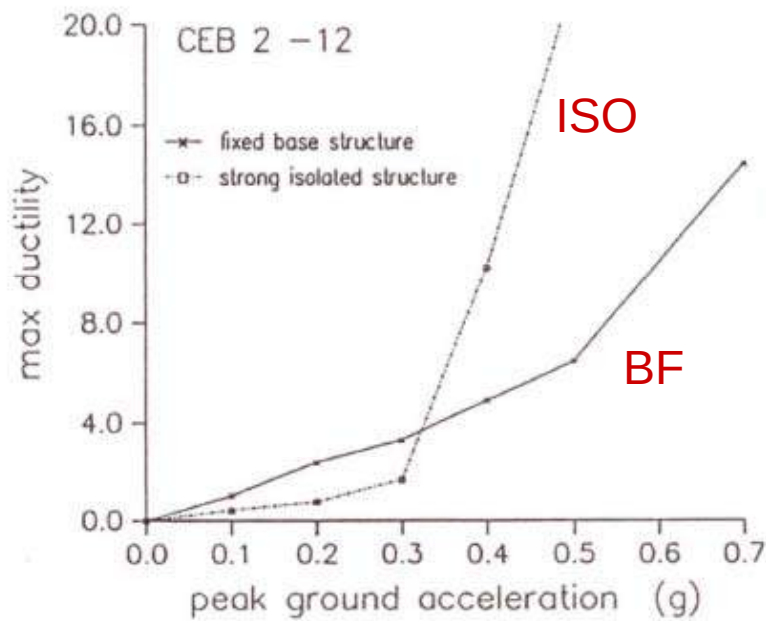
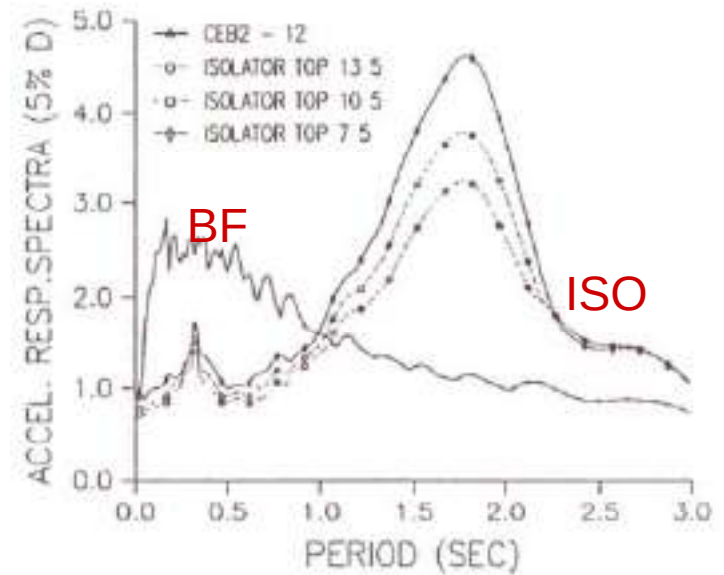
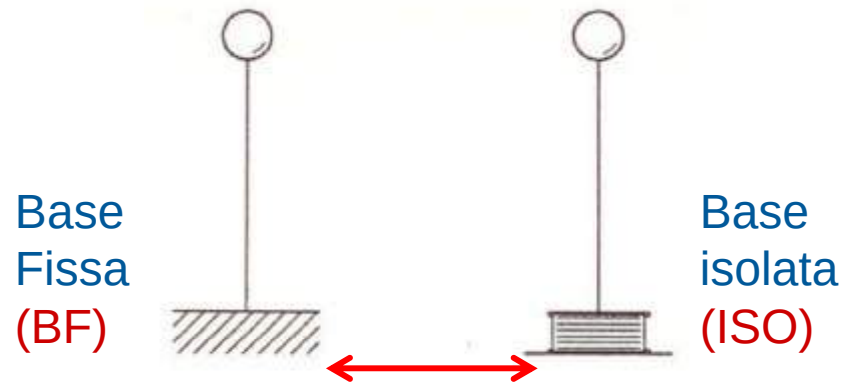


Per terremoti di notevole intensità (SLV o SLC):

Danni estesi (problemi operatività) ↩

↪ Danni trascurabili (operatività)

CONFRONTO BASE FISSA / ISOLATA



N.B. Effetto filtro: analogia con suolo deformabile

F. Vestroni, A. Vulcano, G. Di Pasquale (1991)

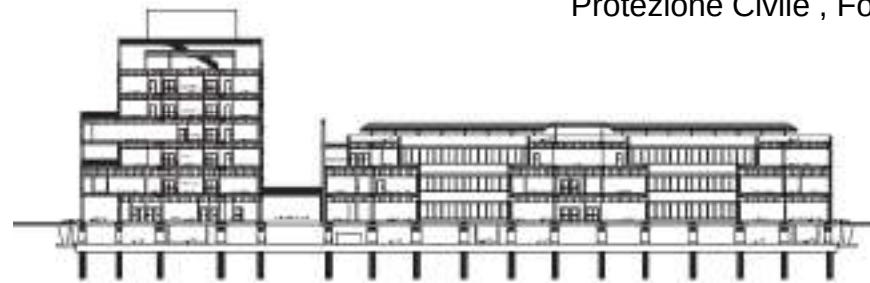
ISOLAMENTO SISMICO (Alcune applicazioni)



Caserma VV.FF., Napoli



Protezione Civile , Foligno (PG)



Ospedale del Mare, Napoli

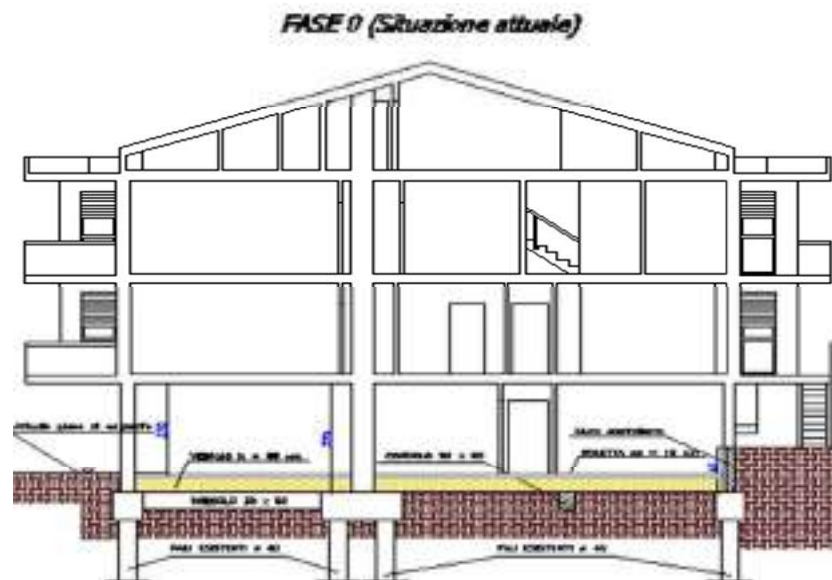
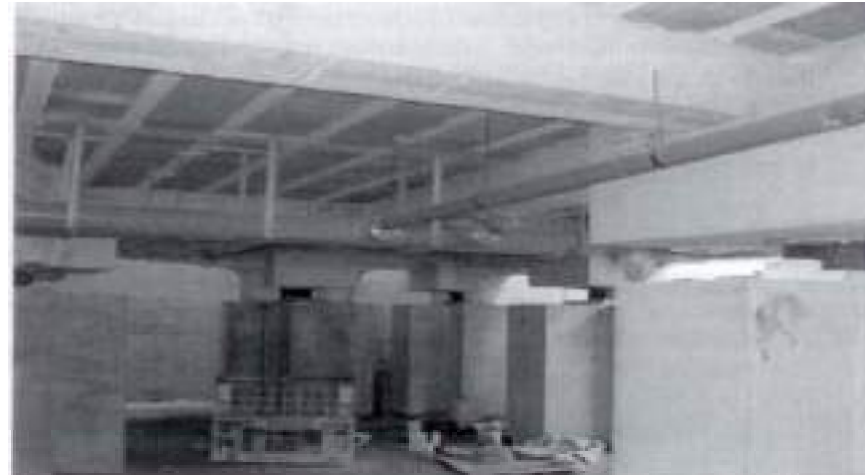


Ricostruzione Scuola Elementare,
San Giuliano di Puglia (CB)



ADEGUAMENTO SISMICO MEDIANTE ISOLAMENTO (Fabriano, AN)

Edificio in c.a., danneggiato dal sisma umbro-marchigiano del 1997-98 e successivamente adeguato inserendo isolatori elastomerici ad alto smorzamento (Ing. Giuseppe Mancinelli)



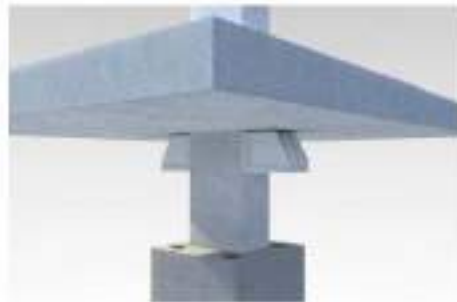
Fasi esecutive



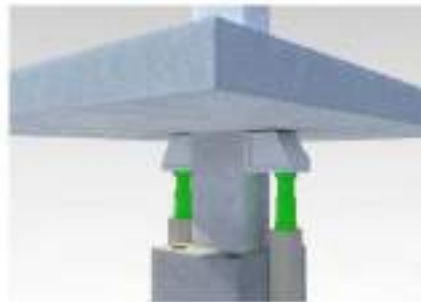
1) the column before retrofit;



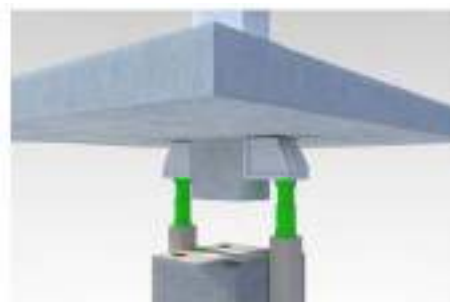
2) column enlargement;



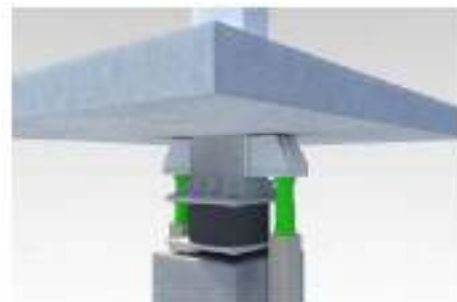
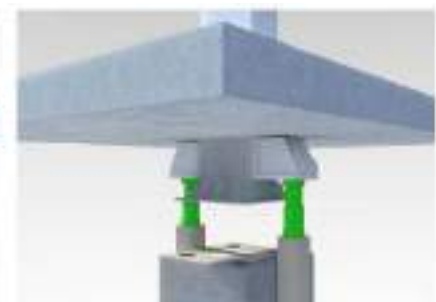
3) fixing of steel brackets;



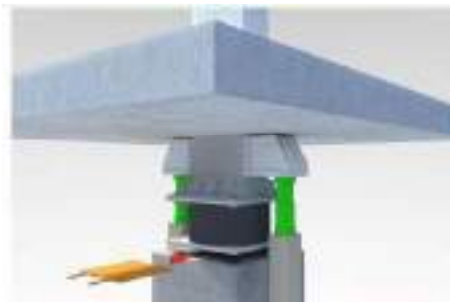
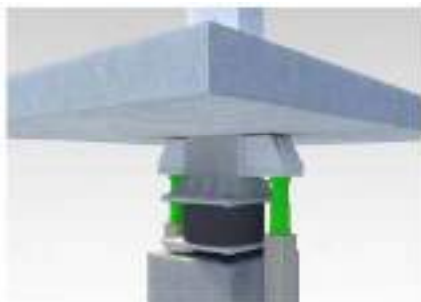
4) placing of hydraulic jacks;



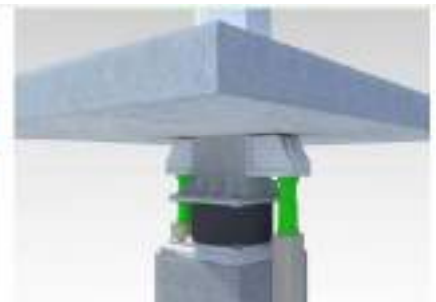
5) cutting and removal of column segment; 6) insertion of upper anchorage structure



7) isolator fixed to upper anchorage structure; 8) grouting of upper anchorage structure;



9) insertion of non-returnable flat jack;



10) final grouting of the isolator.

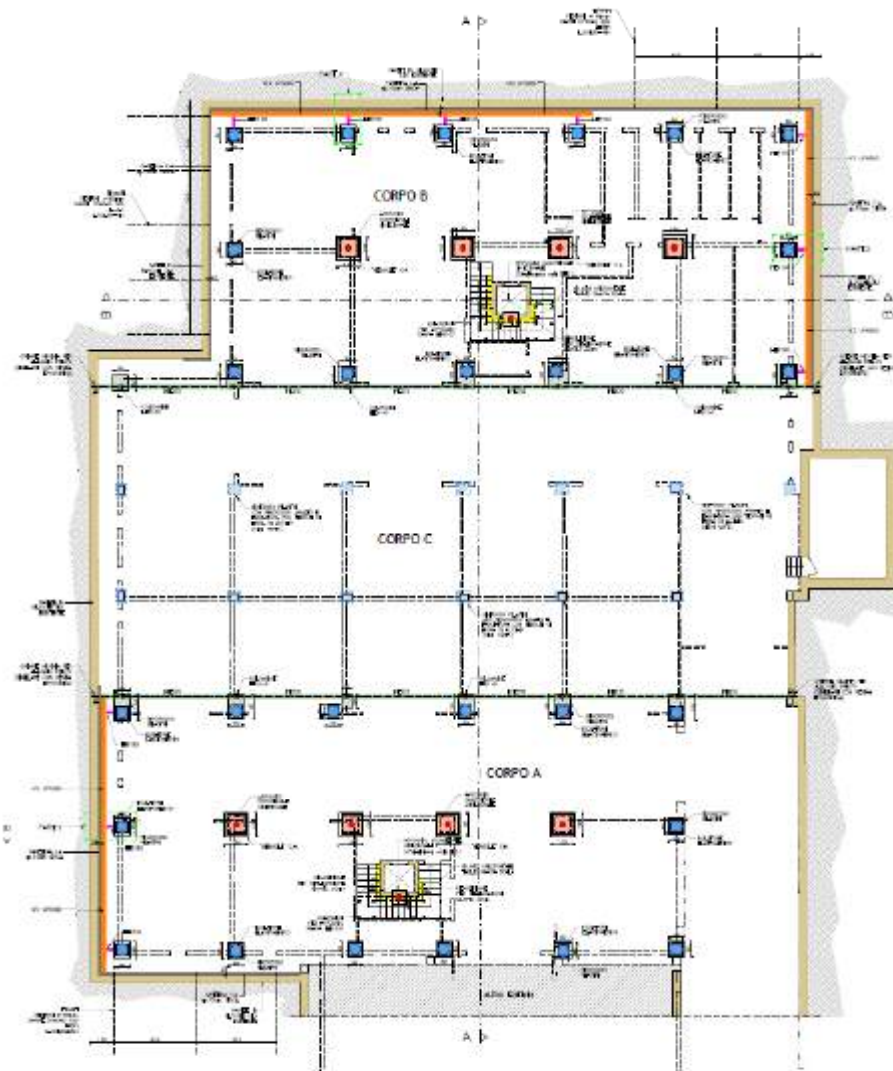
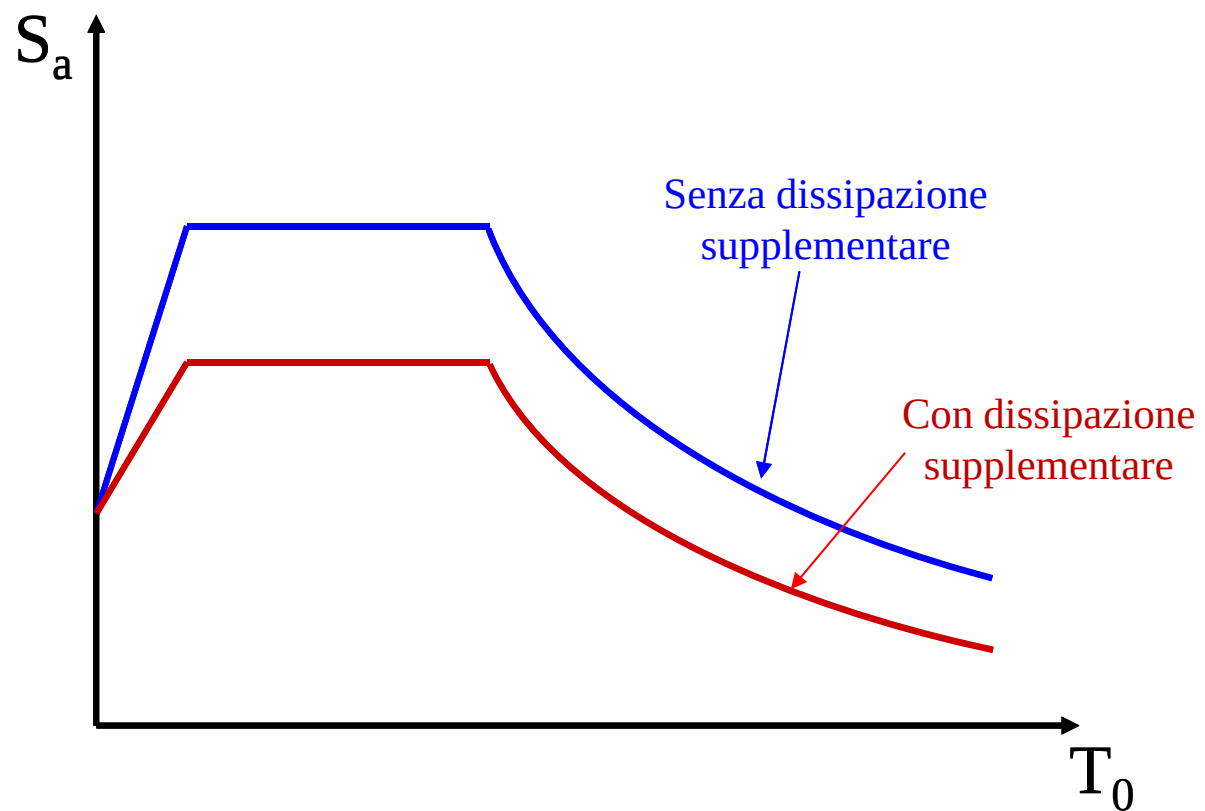


Figure 6. Plan of the isolation system for Crefel Building. Elastomeric isolators are in blu, free sliding pot bearings in red.



DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA



SISTEMI PASSIVI PER LA DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA

■ **DISSIPATORI**

- AD ATTRITO (FR)
- ELASTO-PLASTICI (plasticizzazione metalli) (YL)
- (FLUIDO-) VISCOSI (VS)
- VISCOELASTICI (VE)



■ **“TUNED MASS DAMPERS”** (TMD)

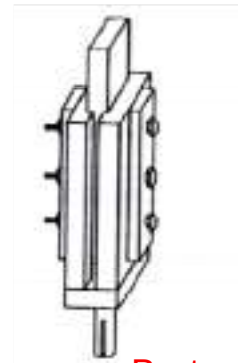
■ **“TUNED LIQUID DAMPERS”** (TLD)

■ **MATERIALI INTELLIGENTI**

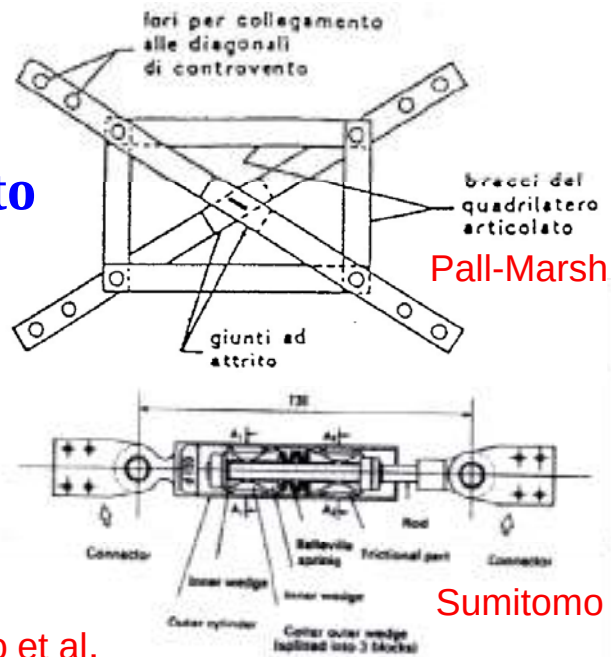
- LEGHE A MEMORIA DI FORMA (SMA)
- PIEZOELETTRICI (PZ)
- FLUIDI ELETTROREOLOGICI (ER)
- FLUIDI MAGNETOREOLOGICI (MR)

TIPOLOGIE DI DISSIPATORI (alcuni esempi)

Ad attrito



Bertero et al.



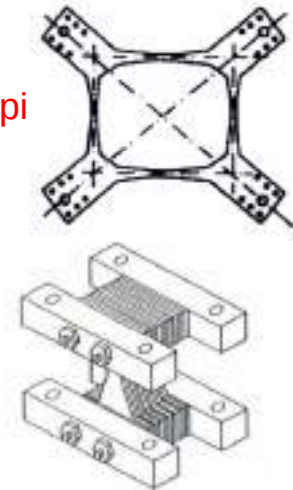
Sumitomo

Elasto-plastici (metalli)



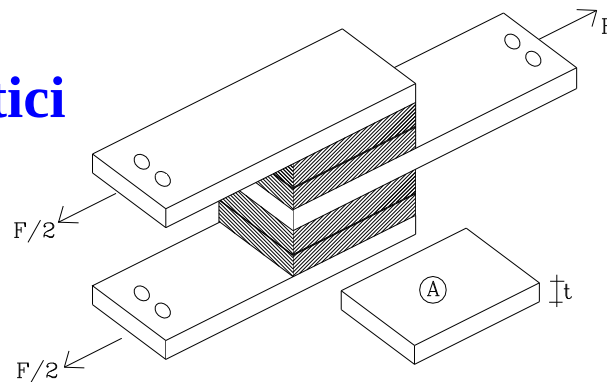
BRB

Ciampi

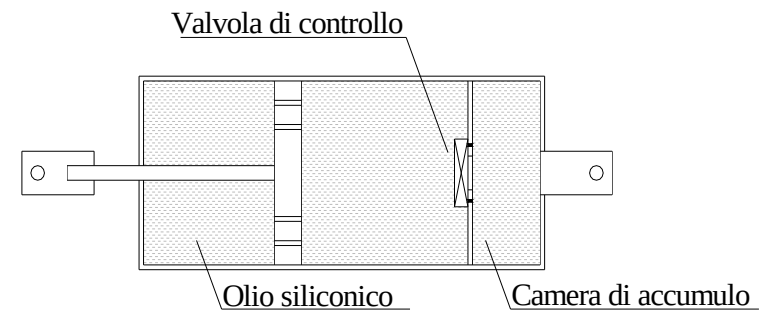


ADAS (Bertero et al.)

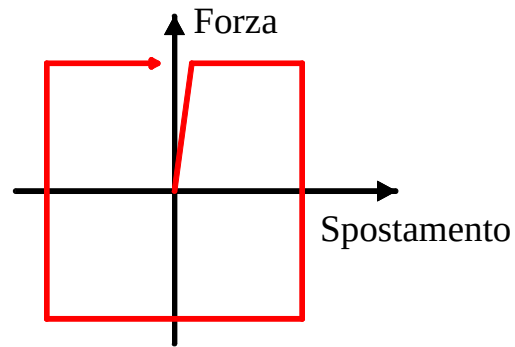
Viscoelastici



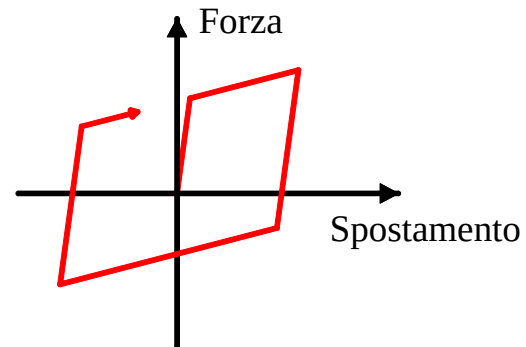
Viscosi



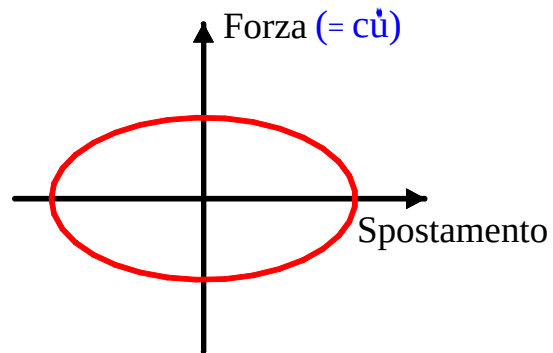
RISPOSTA DI DISSIPATORI



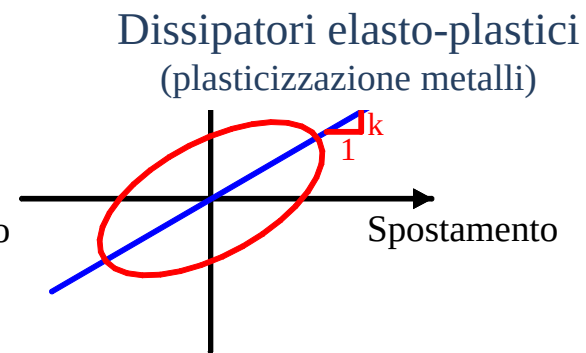
Dissipatori ad attrito



Dissipatori ad isteresi



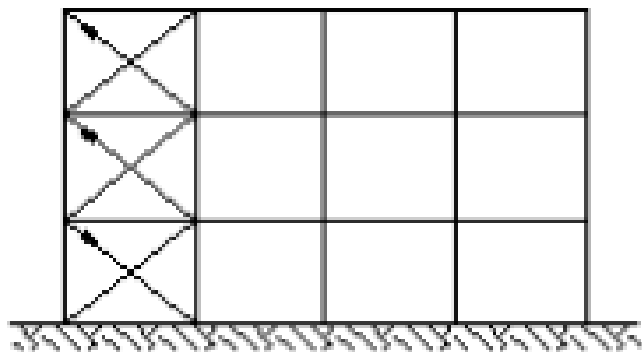
Dissipatori viscosi



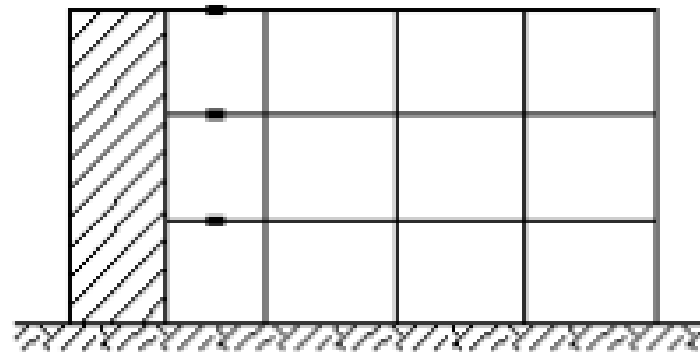
Dissipatori viscoelastici

Dissipatori elasto-plastici
(plasticizzazione metalli)

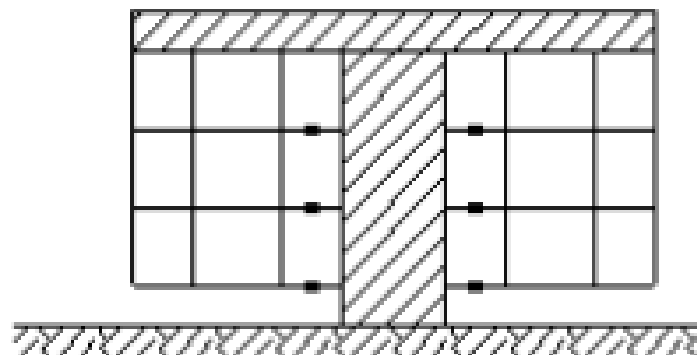
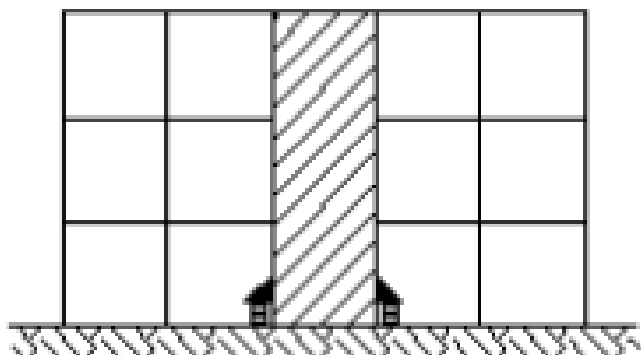
DISPOSIZIONE DI DISPOSITIVI DISSIPATIVI



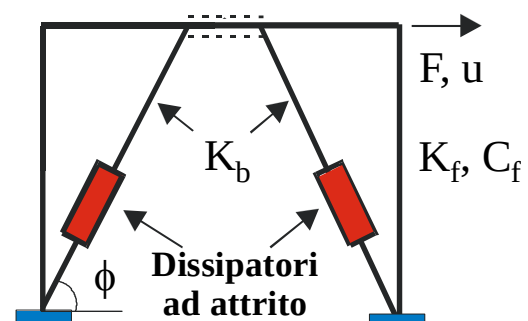
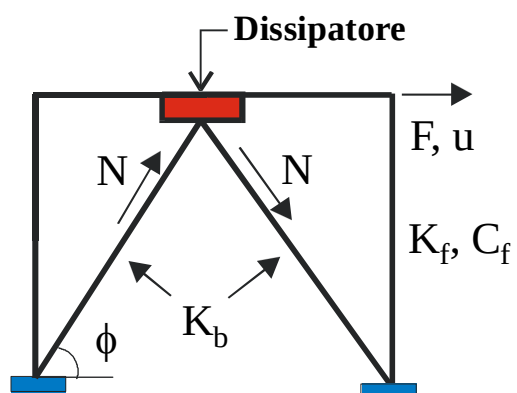
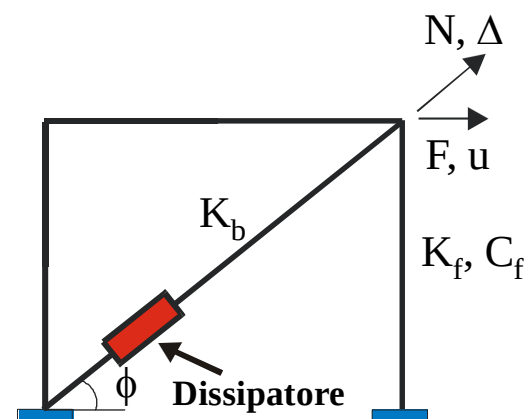
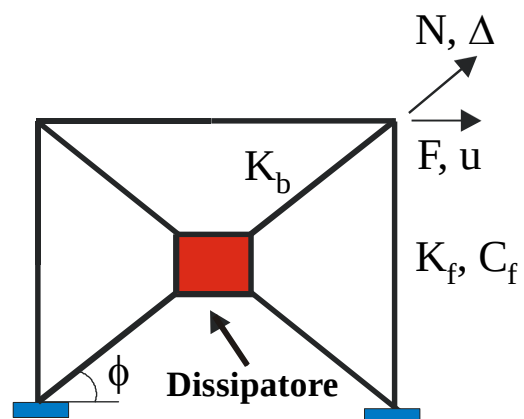
Controventi dissipativi



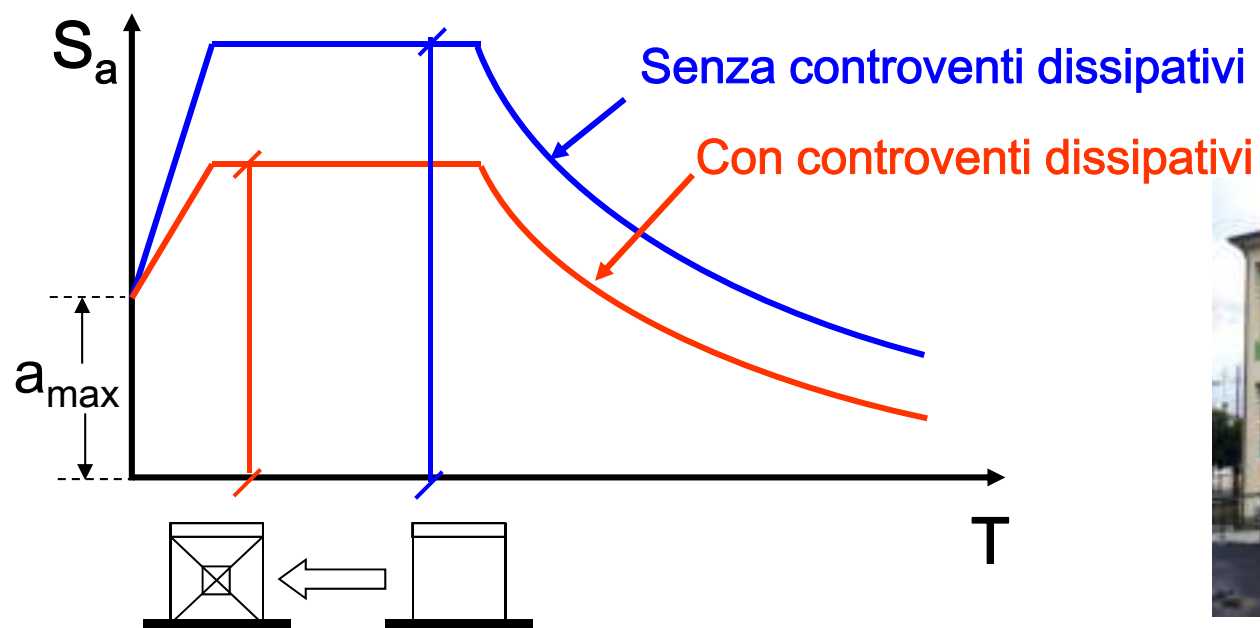
← Parete interna o esterna (esoscheletro)



SCHEMI DI CONTROVENTI DISSIPATIVI



DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA



- Incremento di rigidezza → riduzione periodo vibrazione; assorbimento di una parte delle azioni sismiche; variazione degli sforzi normali (pilastri e travi).
- Incremento capacità dissipativa → riduzione azioni sismiche e spostamenti.

Dissipatori ad attrito / elasto-plastici: l'attivazione dei dissipatori dovrebbe precedere lo snervamento della struttura intelaiata (ma possibili danni delle tamponature).

Dissipatori viscosi / visco-elastici: attivazione anche per basse intensità sismiche (dissipatori fluido-viscosi pressurizzati a matrice siliconica: bassa rigidezza; preminente capacità dissipativa).

CONTROVENTI DISSIPATIVI (Alcune applicazioni, adeguamento sismico)



Scuole Domiziano Viola e La Vista, Potenza



Scuola Media Gentile-Fermi, Fabriano (AN)

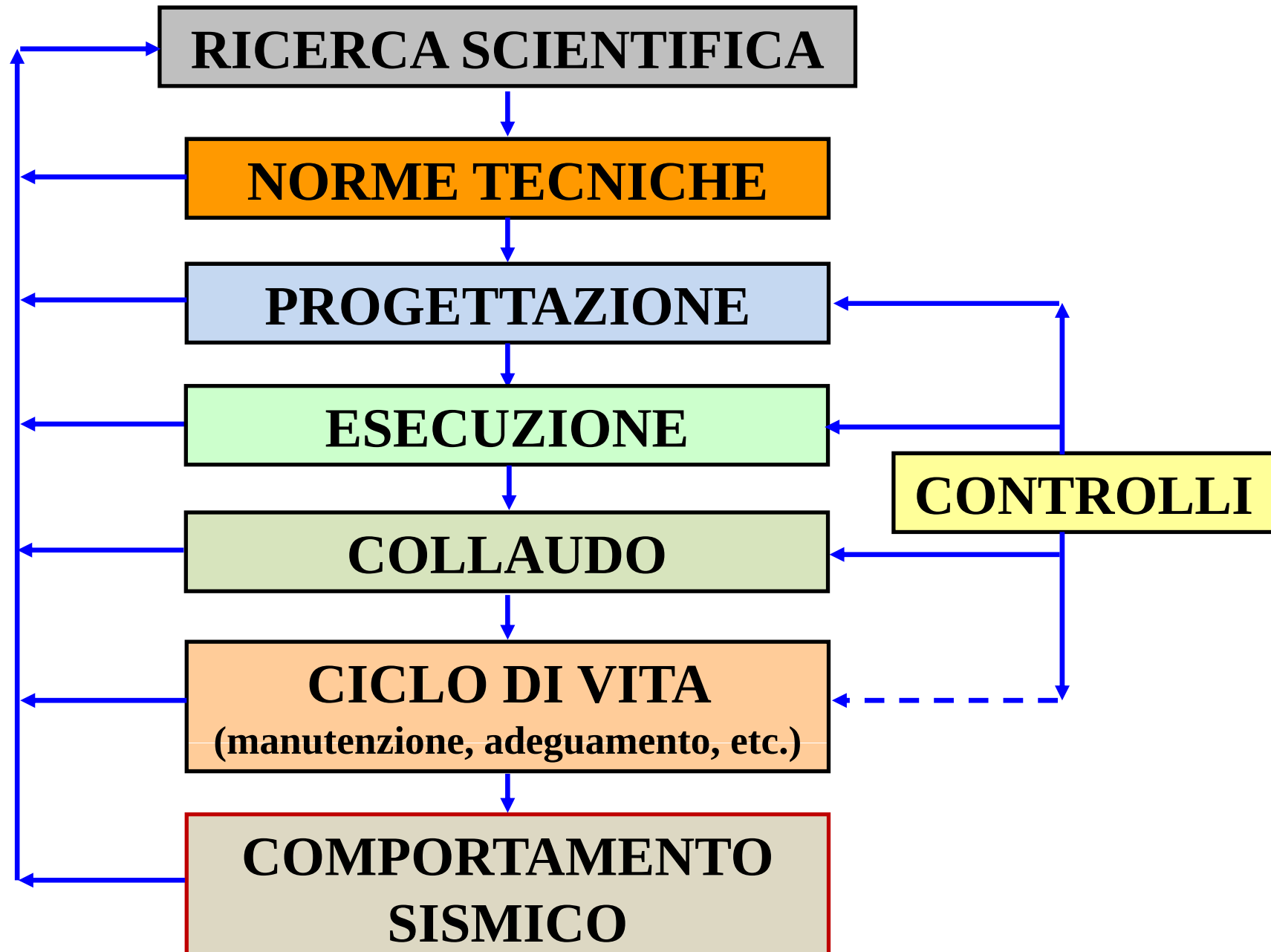


Scuola Elementare, Soverato (CZ)

DISPOSITIVO DI VINCOLO DINAMICO PROVVISORIO (SHOCK TRANSMITTER)

(collega rigidamente le parti strutturali solo durante azioni rapide, come un terremoto, lasciandole invece libere di muoversi durante le normali variazioni termiche)





Grazie per l'attenzione!