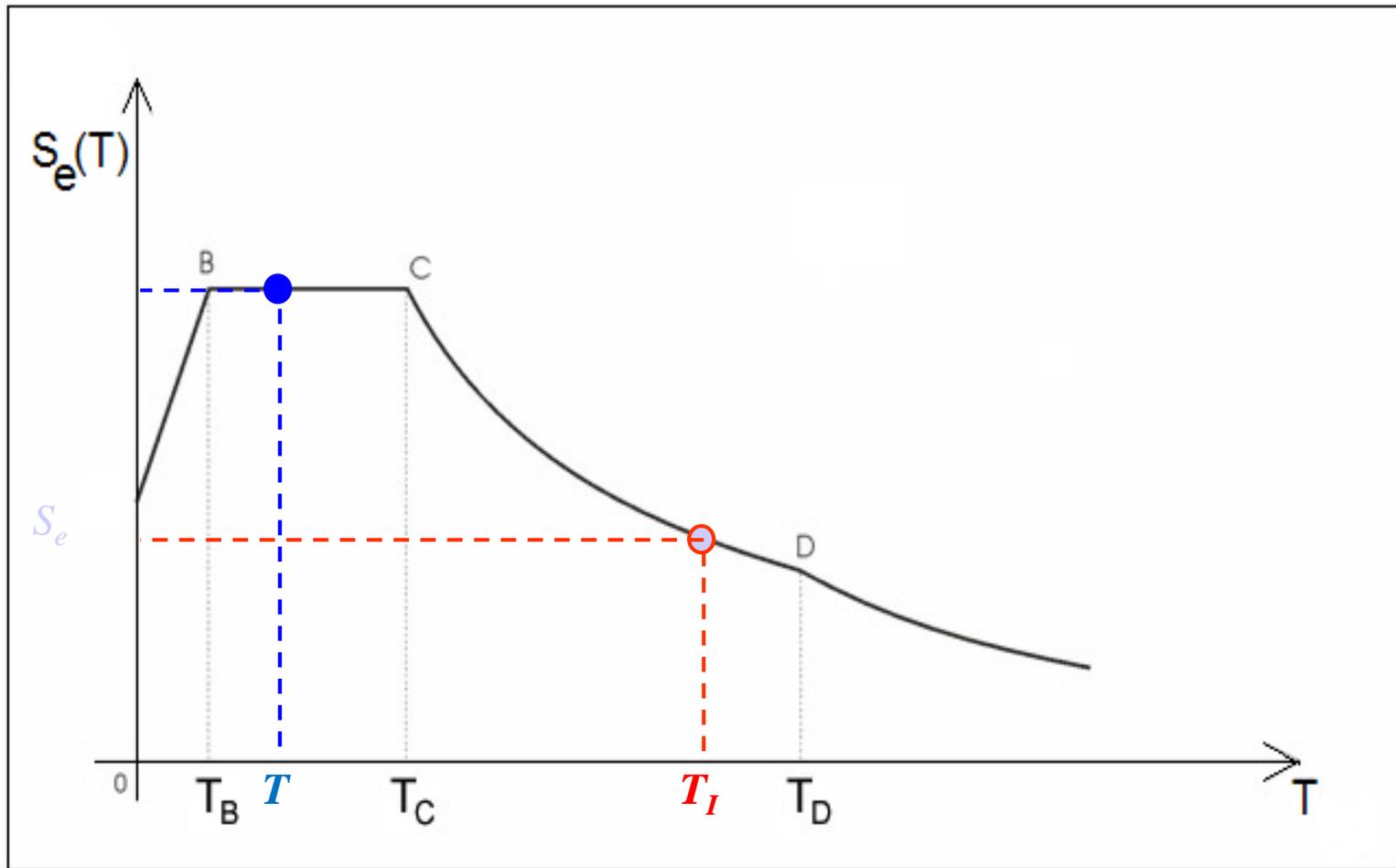




Reportage fotografico commentato dei danni provocati dal terremoto di Amatrice con studio delle cause e delle soluzioni.



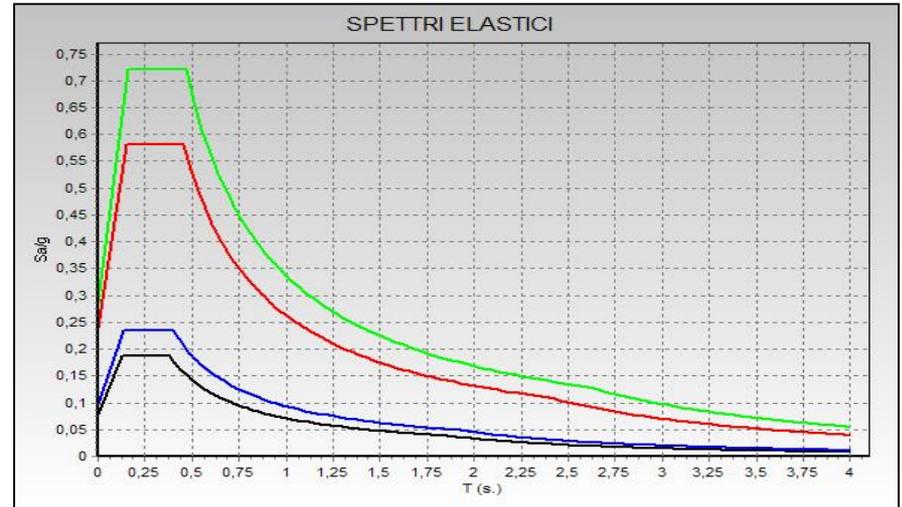
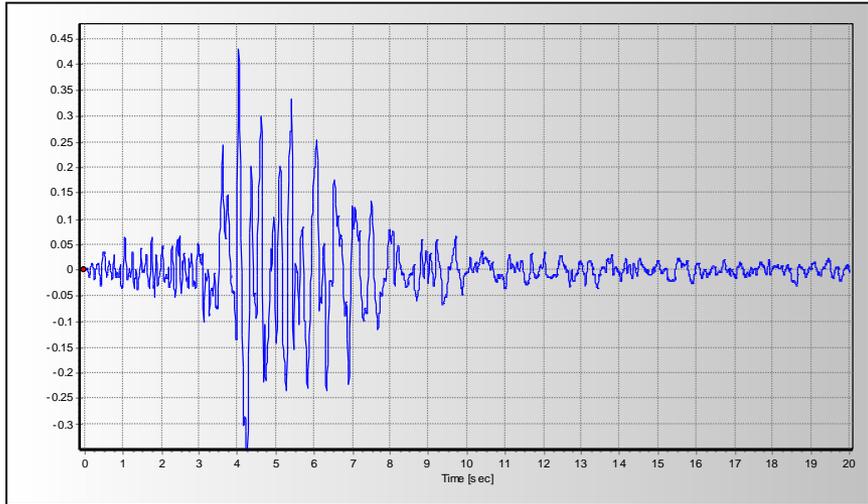
Danni strutturali sulla chiesa e sul campanile



Effetto sismico percepito

AZIONE SISMICA

L'azione sismica può essere descritta tramite **accelerogrammi** o **spettro di risposta**.

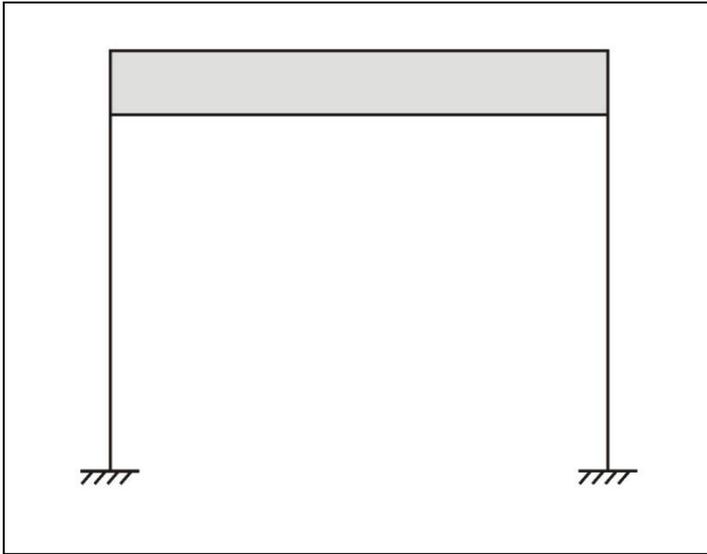


Gli spettri potranno essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s. Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro dovrà essere definito da appositi studi ovvero l'azione sismica andrà descritta mediante **accelerogrammi**. In eguale modo si opererà in presenza di **sottosuoli di categoria S1 o S2**.

In generale non si tiene conto della variabilità spaziale del moto sismico e si adotta per esso una rappresentazione di tipo "puntuale", quale è quella che prevede l'utilizzo degli spettri di risposta e adotta un unico valore di accelerazione del suolo per tutti i punti di contatto con la struttura.

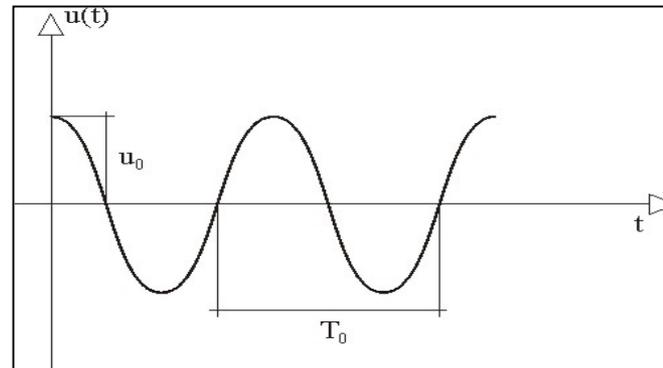
Quando l'estensione del sistema di fondazione non garantisce che l'intera costruzione sia soggetta ad una eccitazione sismica uniforme, è necessario considerare la variabilità spaziale del moto (ad es. impiego di accelerogrammi o di spettri di risposta diversi).

PERIODO DELLA STRUTTURA



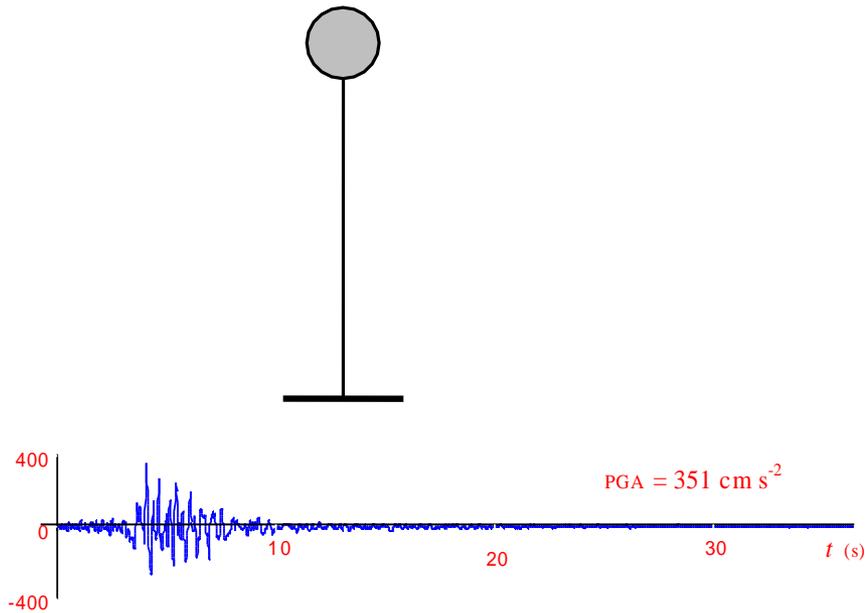
$$T_0 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Se si impone alla testa del piedritto uno spostamento orizzontale u_0 (rispetto la posizione di riposo verticale) e successivamente lo si lascia libero, sul sistema si instaurerà un regime di oscillazioni libere caratterizzate da un andamento sinusoidale nel tempo con un periodo di oscillazione T_0 , questo è il tempo che intercorre per permettere al traverso di compiere un'oscillazione completa e ritornare nella posizione iniziale. Tale periodo, detto anche periodo proprio dell'oscillatore è legato alle due grandezze m e k (massa e rigidezza) dalla seguente relazione:

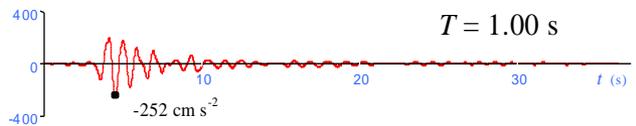
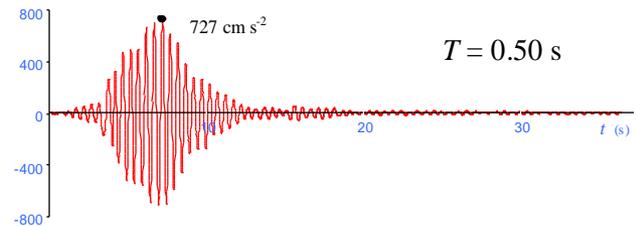
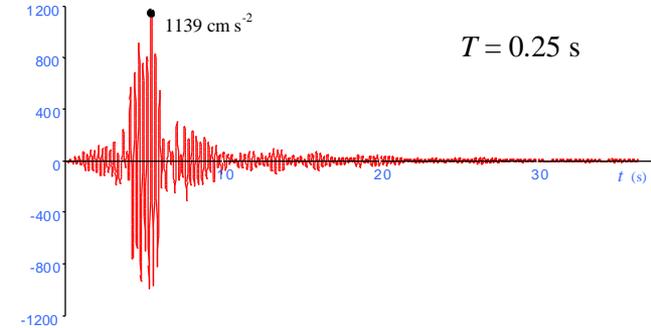


CATEGORIA DEL SUOLO

Oscillatori differenti reagiscono in modo diverso ad uno stesso terremoto



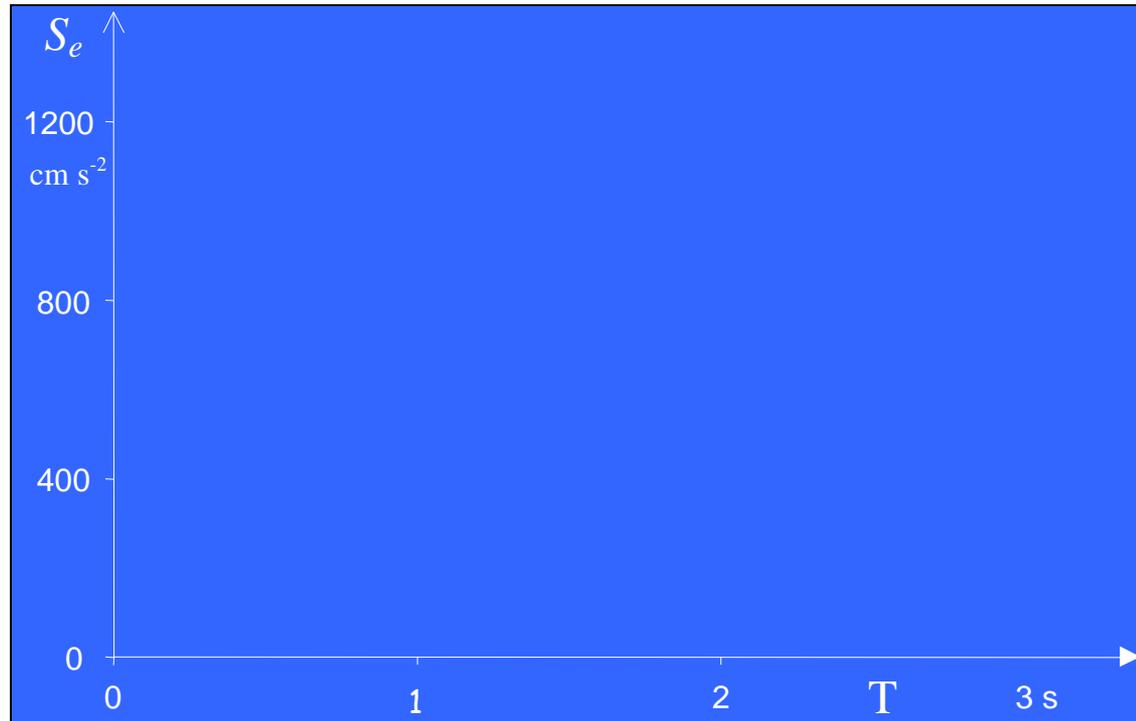
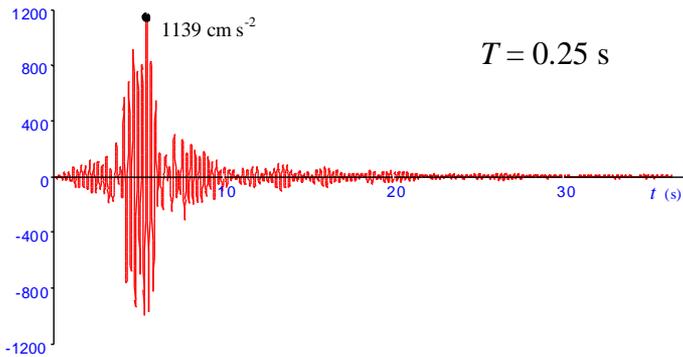
Tolmezzo, Friuli, 1976





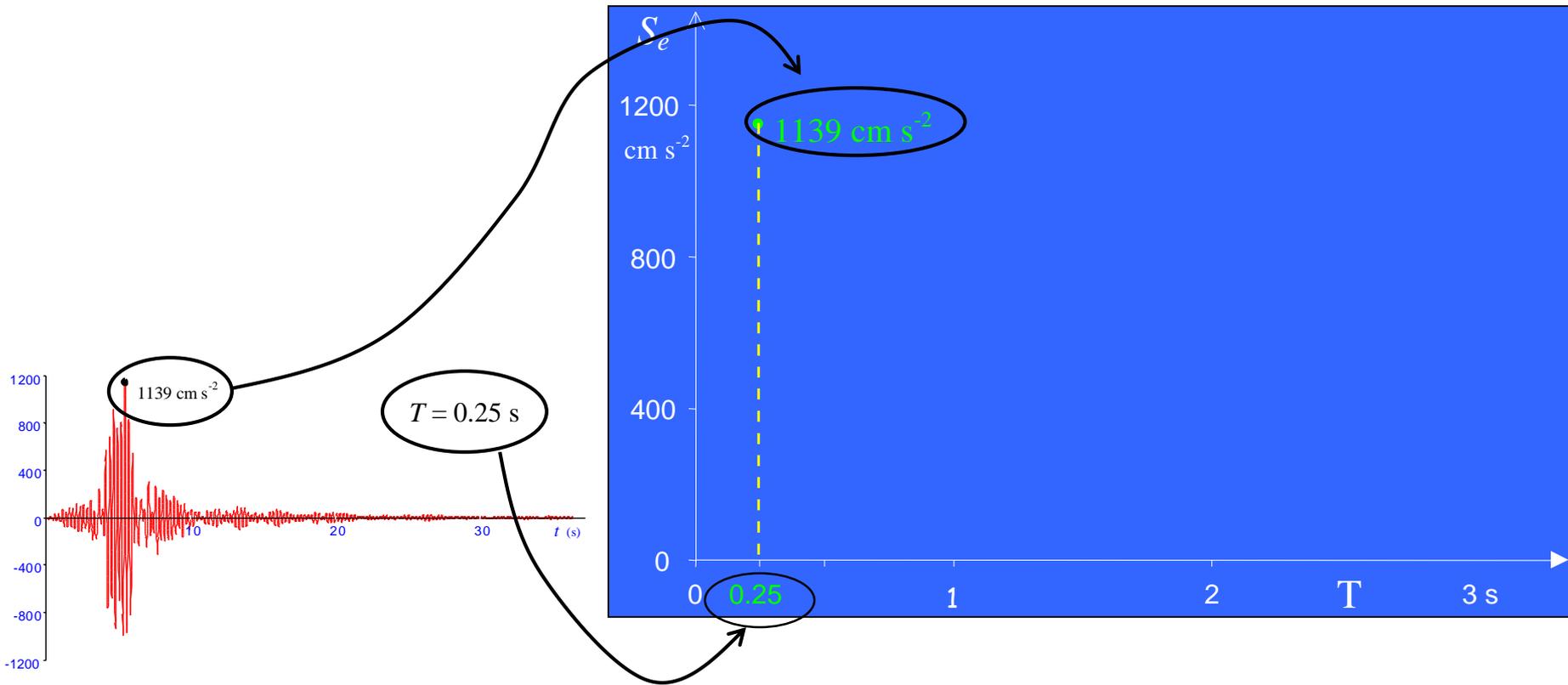
SPETTRI DI RISPOSTA

Si può diagrammare il valore della massima accelerazione ottenendo lo **spettro di risposta** dell'accelerogramma



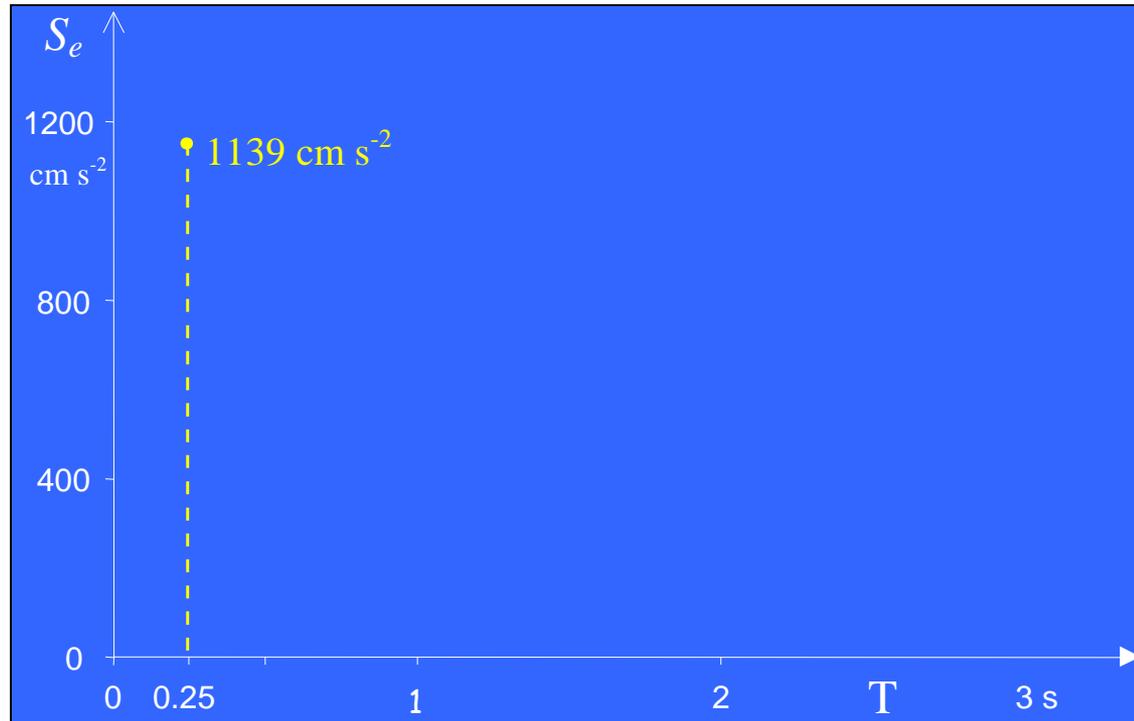
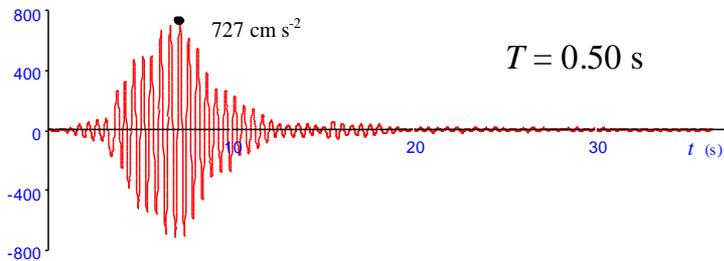
SPETTRI DI RISPOSTA

Si può diagrammare il valore della massima accelerazione ottenendo lo **spettro di risposta** dell'accelerogramma



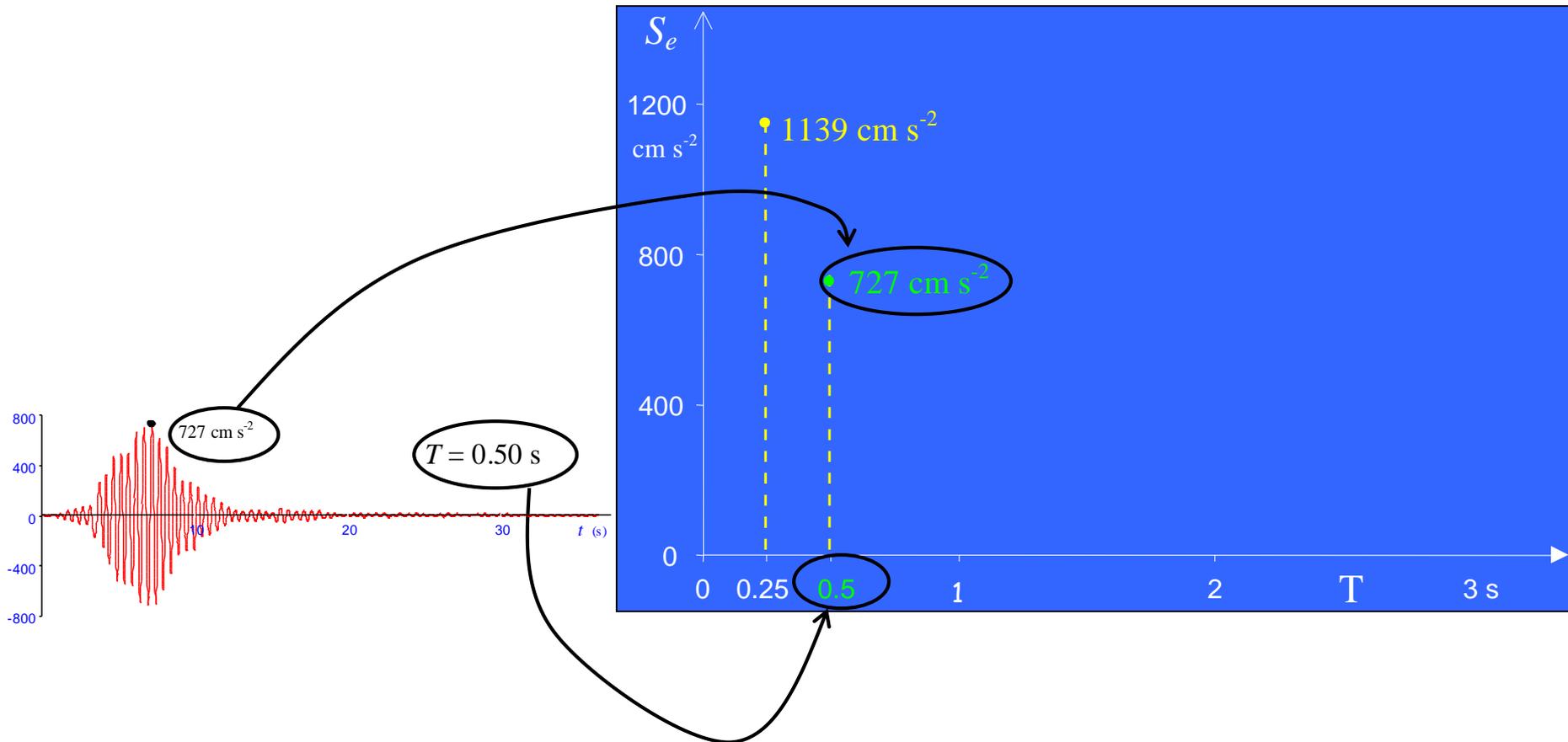
SPETTRI DI RISPOSTA

Si può diagrammare il valore della massima accelerazione ottenendo lo **spettro di risposta** dell'accelerogramma



SPETTRI DI RISPOSTA

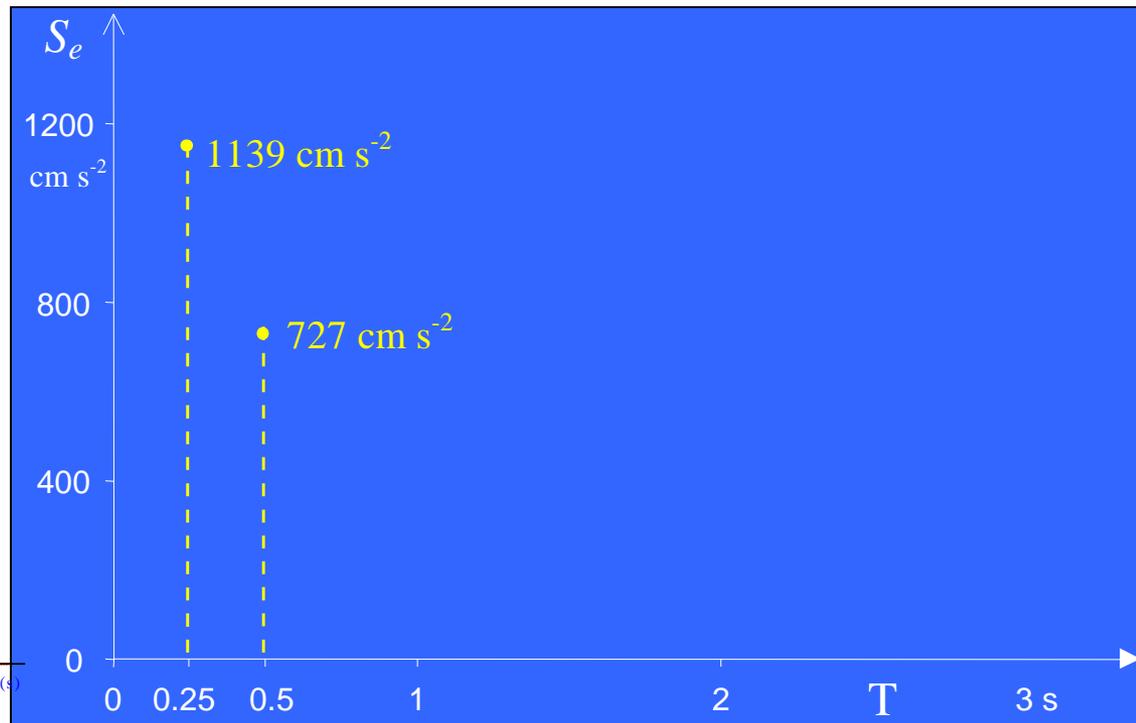
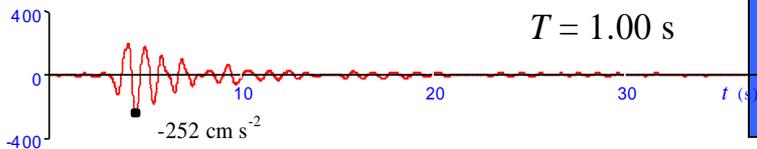
Si può diagrammare il valore della massima accelerazione ottenendo lo **spettro di risposta** dell'accelerogramma





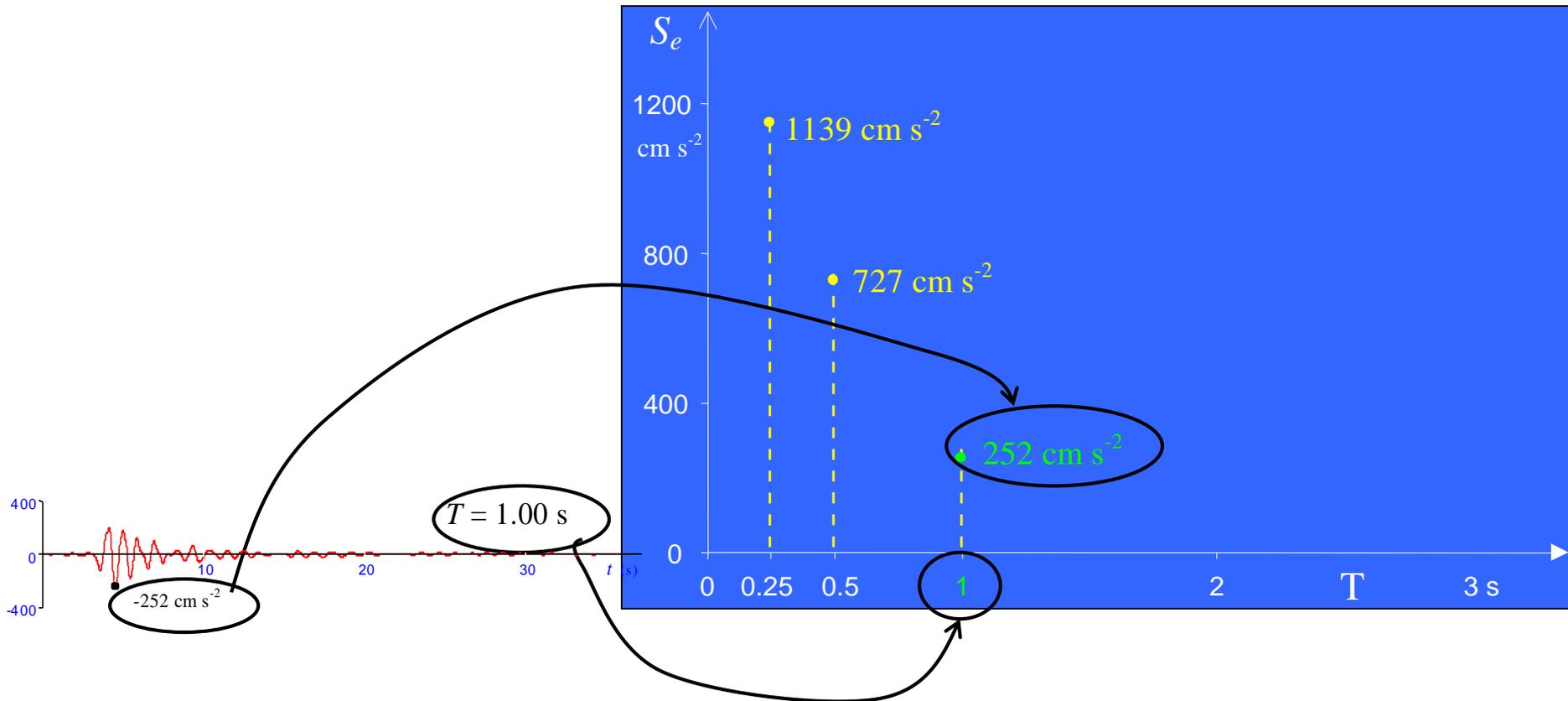
SPETTRI DI RISPOSTA

Si può diagrammare il valore della massima accelerazione ottenendo lo **spettro di risposta** dell'accelerogramma



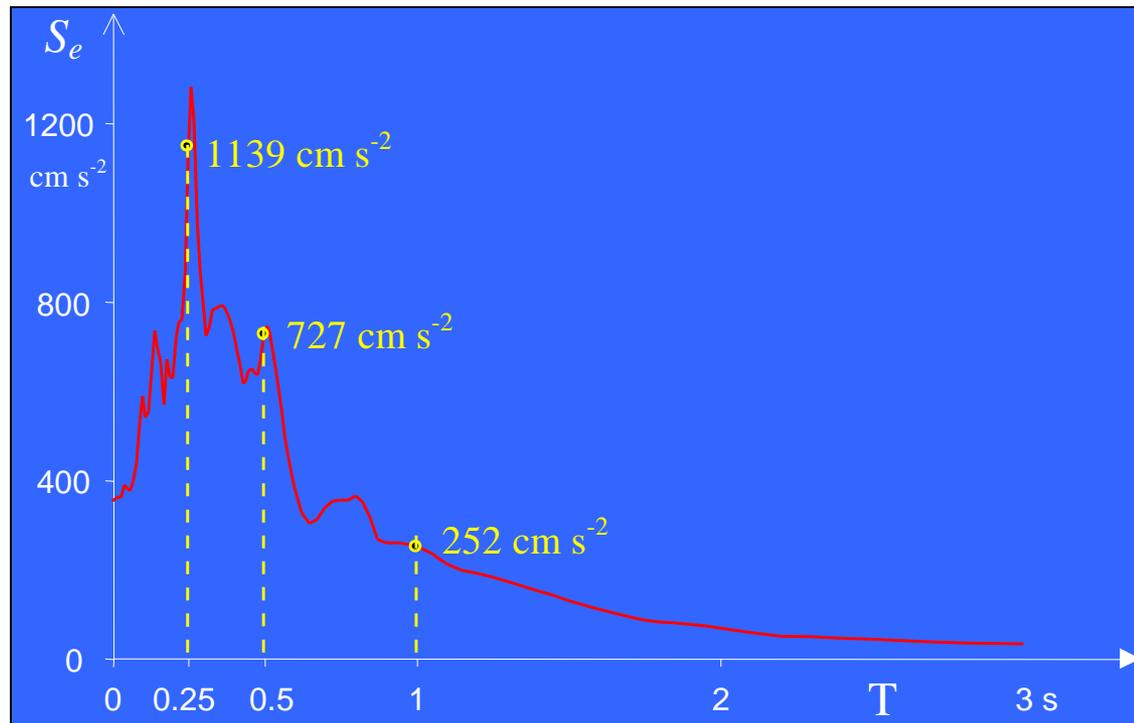
SPETTRI DI RISPOSTA

Si può diagrammare il valore della massima accelerazione ottenendo lo **spettro di risposta** dell'accelerogramma



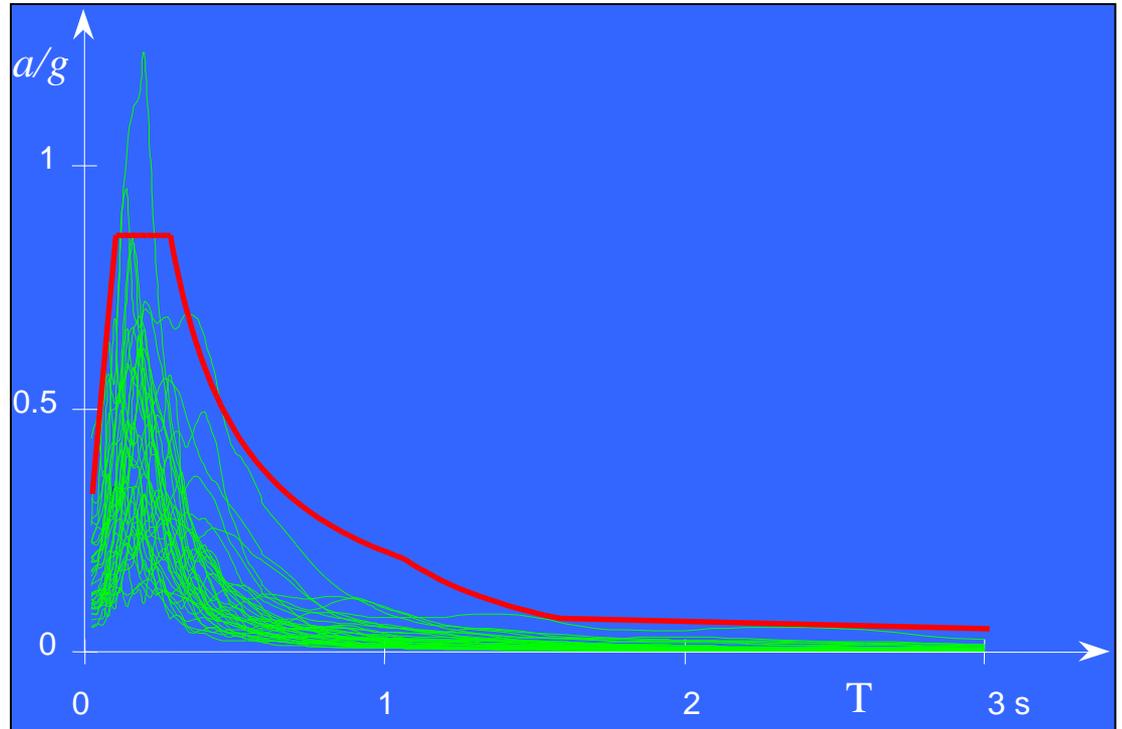
SPETTRI DI RISPOSTA

Si può diagrammare il valore della massima accelerazione ottenendo lo **spettro di risposta** dell'accelerogramma



SPETTRI DI RISPOSTA

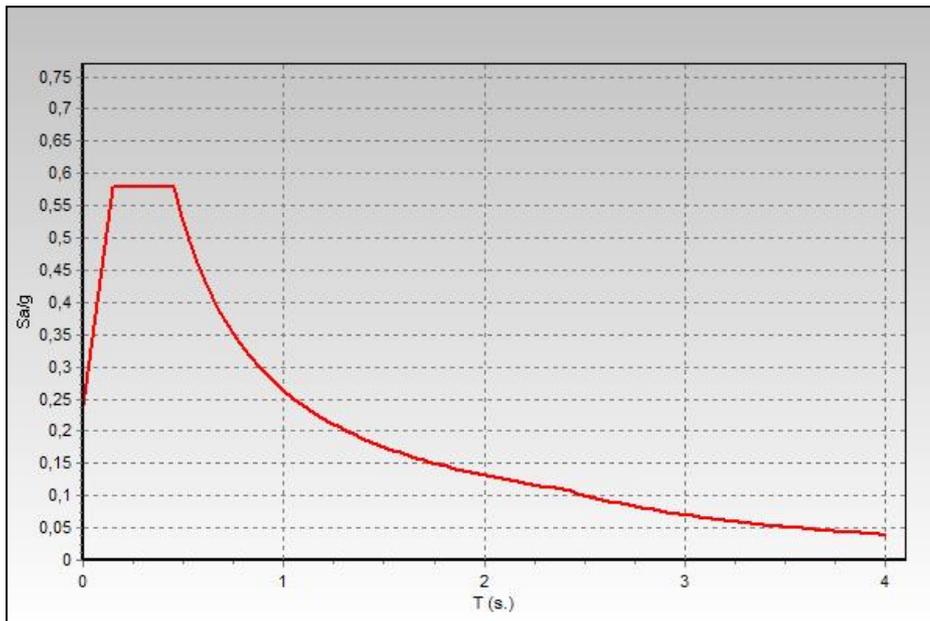
Si può diagrammare il valore della massima accelerazione ottenendo lo **spettro di risposta** dell'accelerogramma



Si può quindi definire una curva che involupa tutti gli spettri di risposta, o che viene superata solo occasionalmente



SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO PER AZIONI ORIZZONTALI



Se – Accelerazione spettrale orizzontale

T – Periodo di vibrazione

$$0 \leq T < T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_O \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_O} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_O$$

$$T_C \leq T < T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_O \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_O \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$



COEFFICIENTI DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Categoria del suolo	S _s	C _c
A	1.0	1.0
B	$1.00 < 1.40 - 0.40 F_o a_g/g < 1.20$	$1.10 (T_c^*)^{-0.20}$
C	$1.00 < 1.70 - 0.60 F_o a_g/g < 1.50$	$1.05 (T_c^*)^{-0.33}$
D	$0.90 < 2.40 - 1.50 F_o a_g/g < 1.80$	$1.25 (T_c^*)^{-0.50}$
E	$1.00 < 2.00 - 1.10 F_o a_g/g < 1.60$	$1.15 (T_c^*)^{-0.40}$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera	S _T
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

CATEGORIA DEL SUOLO

Categ. suolo	Tipo	N_{SPT}	c_u (kPa)	Velocità diffusione onde sismiche
A	Suoli omogenei molto rigidi			$V_{s30} > 800$ m/s
B	Sabbie molto addensate	$N_{SPT} > 50$	$c_u > 250$	$360 \text{ m/s} < V_{s30} < 800 \text{ m/s}$
C	Sabbie mediamente addensate	$15 < N_{SPT} < 50$	$70 < c_u < 250$	$180 \text{ m/s} < V_{s30} < 360 \text{ m/s}$
D	Terreni granulari poco addensati	$N_{SPT} < 15$	$c_u < 70$	$V_{s30} < 180$ m/s
E	Terreni a strati superficiali alluvionali			V_{s30} come C o D nello strato superficiale (spessore tra 5 e 20 m) e come A nel substrato

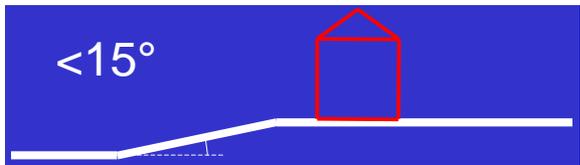
$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}$$

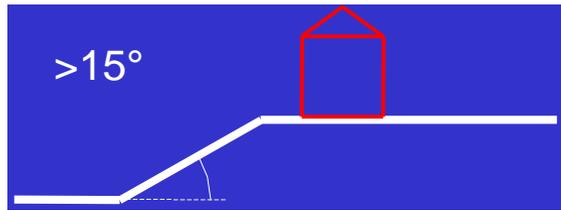
$$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{u,i}}}$$

CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

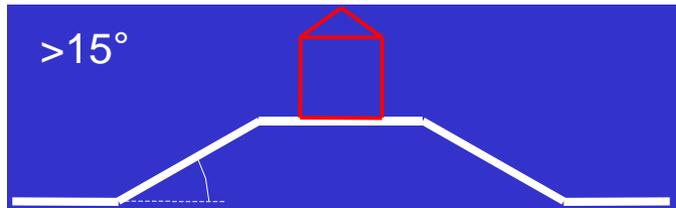
Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$



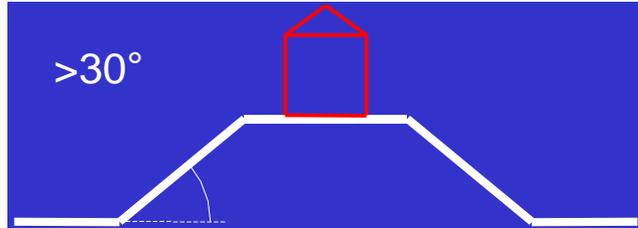
T1 ($S_T=1.0$)



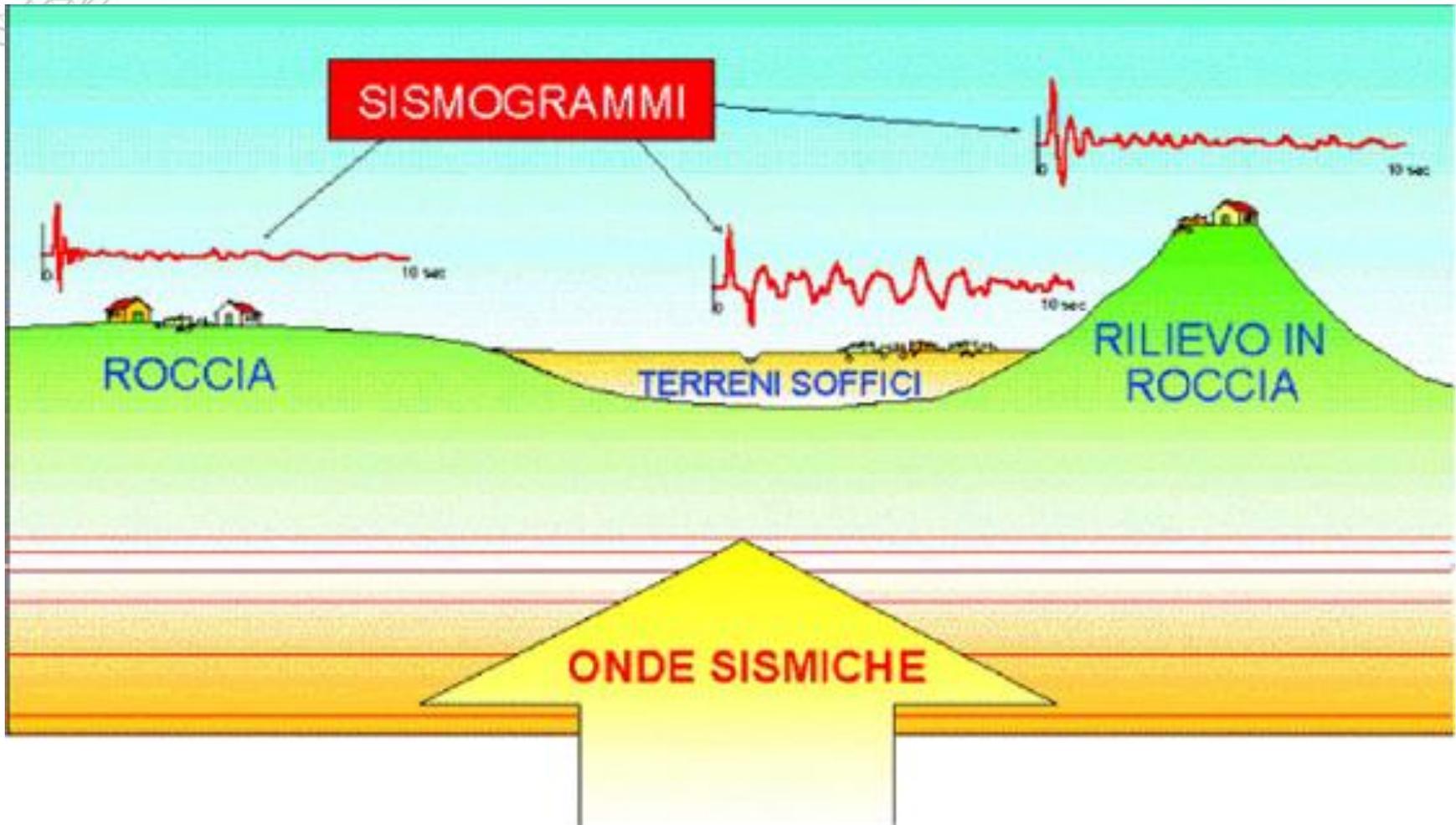
T2 ($S_T=1.2$)



T3 ($S_T=1.2$)



T4 ($S_T=1.4$)



Effetto sismico percepito



SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO PER AZIONI ORIZZONTALI

$$0 \leq T < T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

$$S = S_S \cdot S_T$$

S_S = Coefficiente di amplificazione stratigrafica

S_T = Coefficiente di amplificazione topografica

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0.55$$

ξ = Coefficiente di smorzamento viscoso espresso in percentuale (comunemente 5)

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad T_B = T_C / 3 \quad T_D = 4 \cdot \frac{a_g}{g} + 1.6$$

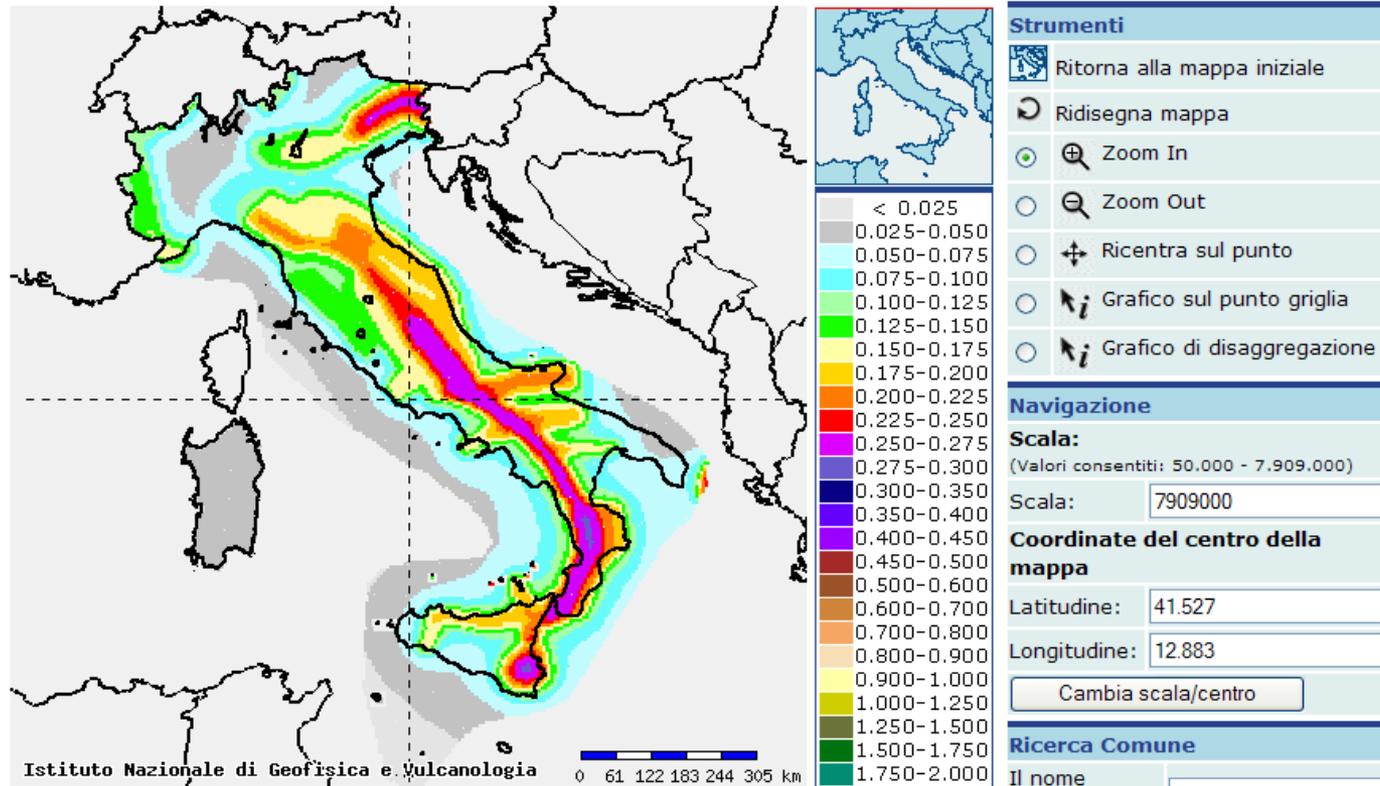
C_C = Coefficiente legato alla categoria del suolo

Rimangono da determinare

$$a_g \quad F_0 \quad T_C^*$$

MAPPA SISMICA INTERATTIVA INGV

Mappe interattive di pericolosità sismica



Strumenti

- Ritorna alla mappa iniziale
- Ridisegna mappa
- Zoom In
- Zoom Out
- Ricentra sul punto
- Grafico sul punto griglia
- Grafico di disaggregazione

Navigazione

Scala:

(Valori consentiti: 50.000 - 7.909.000)

Scala:

Coordinate del centro della mappa

Latitudine:

Longitudine:

Ricerca Comune

Il nome

contiene:

Selezione mappa

<input type="checkbox"/>	Visualizza punti della griglia riferiti a:	Parametro dello scuotimento:	Probabilità in 50 anni:	Percentile:	Periodo spettrale (sec):
<input checked="" type="checkbox"/>		a(g)	10%	50	
<input type="checkbox"/>	Ridisegna mappa				

Reticolo di riferimento (distanza nodi 10 km)

MAPPA SISMICA INTERATTIVA INGV

Mappe interattive di pericolosità sismica

Strumenti

- Ritorna alla mappa iniziale
- Ridisegna mappa
- Zoom In
- Zoom Out
- Ricentra sul punto
- Grafico sul punto griglia
- Grafico di disaggregazione

Navigazione

Scala:
(Valori consentiti: 50.000 - 7.909.000)

Scala:

Coordinate del centro della mappa

Latitudine:

Longitudine:

Ricerca Comune

Il nome contiene:

Comune evidenziato

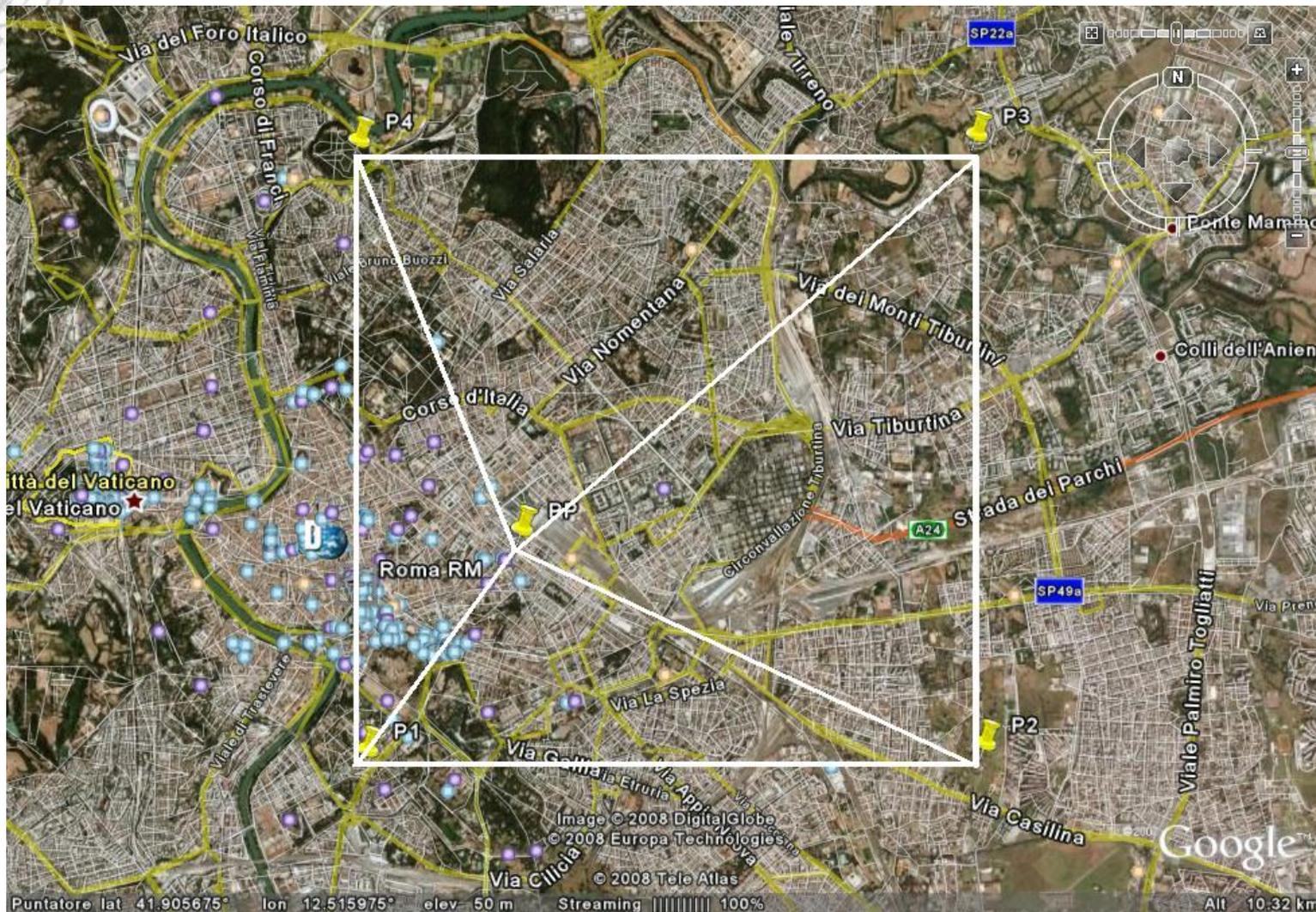
Roma

Selezione mappa

<input type="checkbox"/>	Visualizza punti della griglia riferiti a:	Parametro dello scuotimento:	Probabilità in 50 anni:	Percentile:	Periodo spettrale (sec):
<input checked="" type="checkbox"/>		a(g)	10%	50	
<input type="checkbox"/>					

Reticolo di riferimento (distanza nodi 10 km)

MAPPA SISMICA INTERATTIVA INGV



Reticolo di riferimento (distanza nodi 10 km)



Scuola di Amatrice



Miglioramento sismico



INTERVENTI SULLE STRUTTURE IN C.A.

8.4.2. Intervento di miglioramento.

Rientrano negli interventi di miglioramento tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate.

È possibile eseguire interventi di miglioramento nei casi in cui non ricorrano le condizioni specificate al paragrafo 8.4.1.

Per i beni di interesse culturale (“testimonianze aventi valore di civiltà”) in zone dichiarate a rischio sismico è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.

Il progetto e la valutazione della sicurezza dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.



Ampliamento in c.a.



Ampliamento in c.a.



Caratteristiche scadenti della muratura



Caratteristiche scadenti della muratura

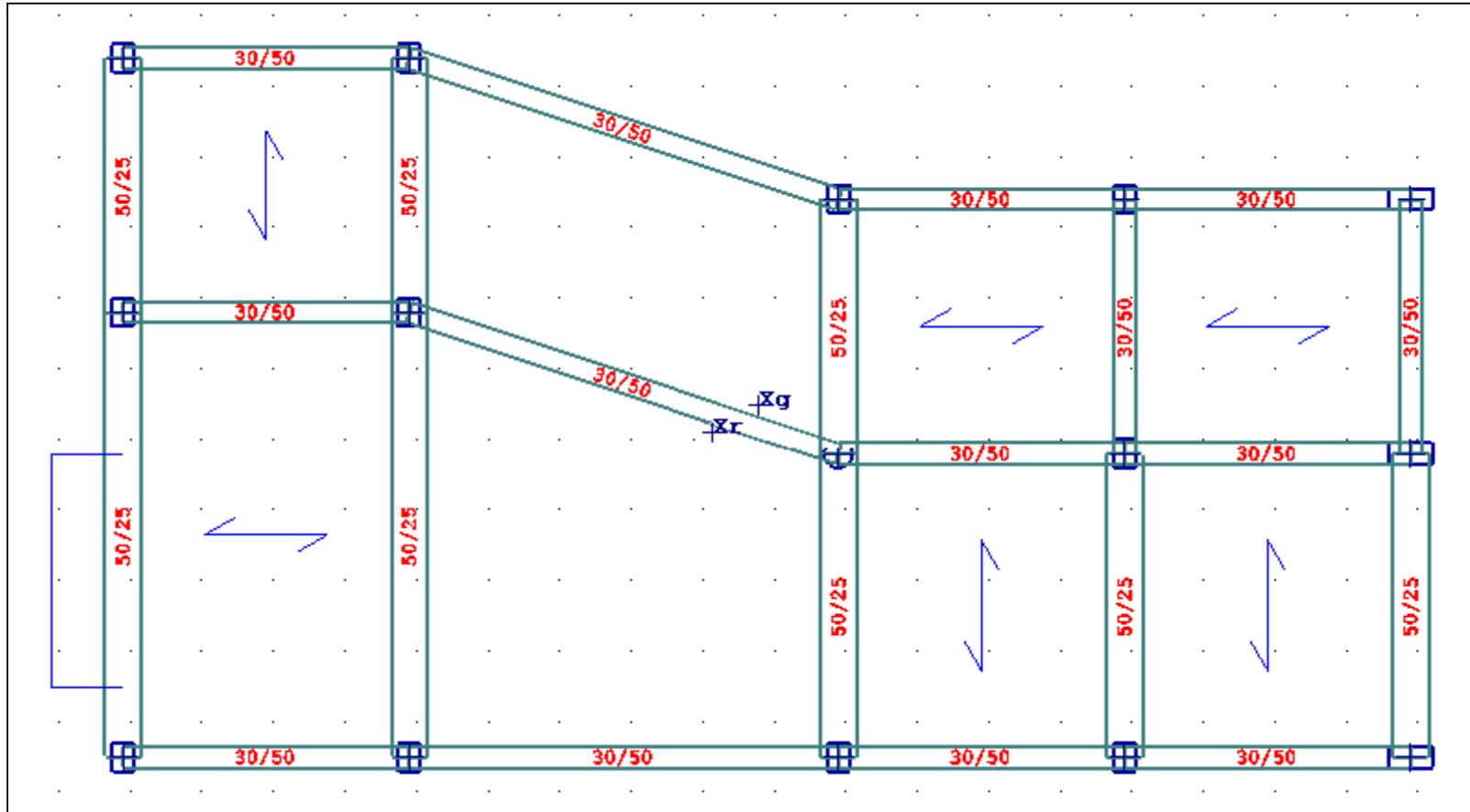


Caratteristiche scadenti della muratura

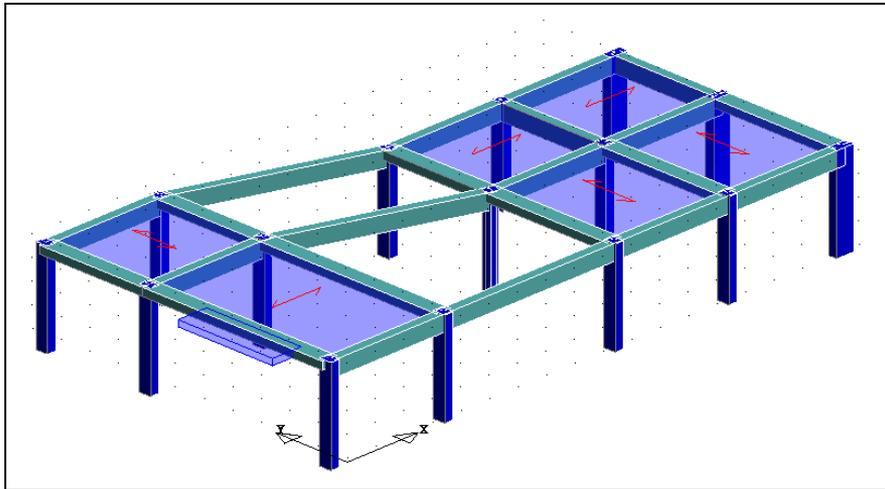


Perimetro strutturale non idoneo

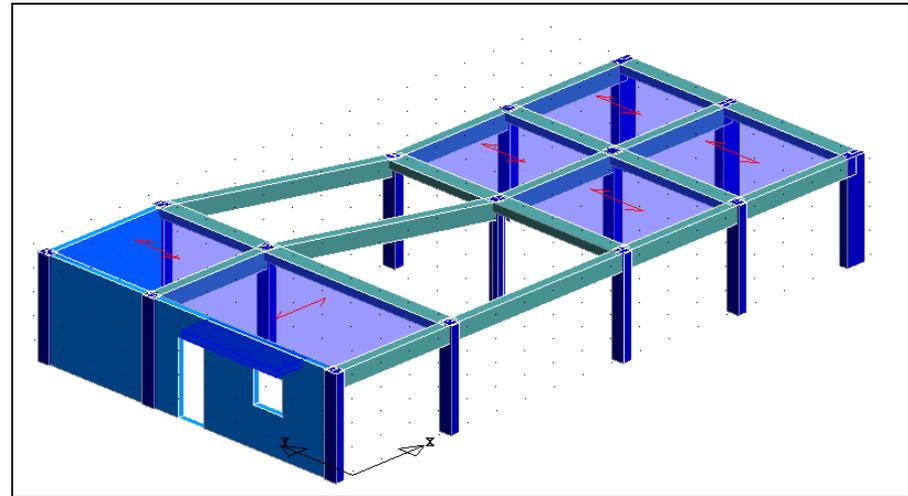
Baricentro delle Masse e delle Rigidezze



Baricentro delle Masse e delle Rigidezze

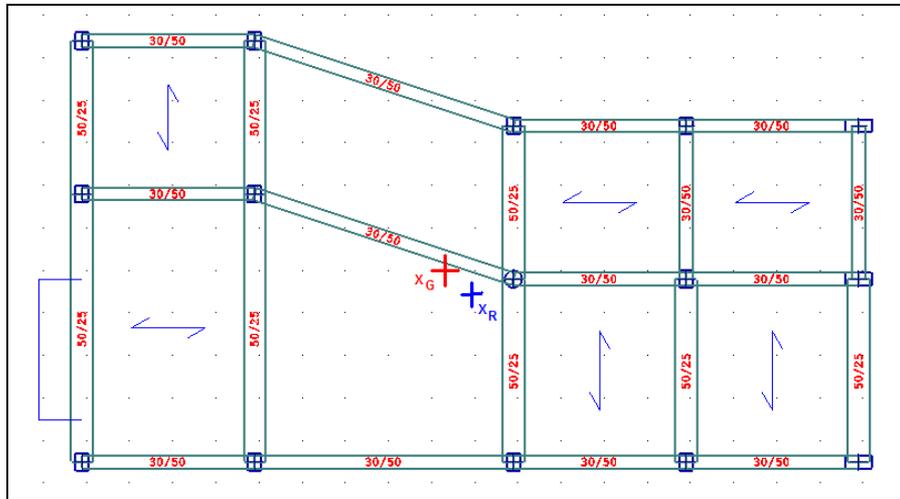


Struttura 1

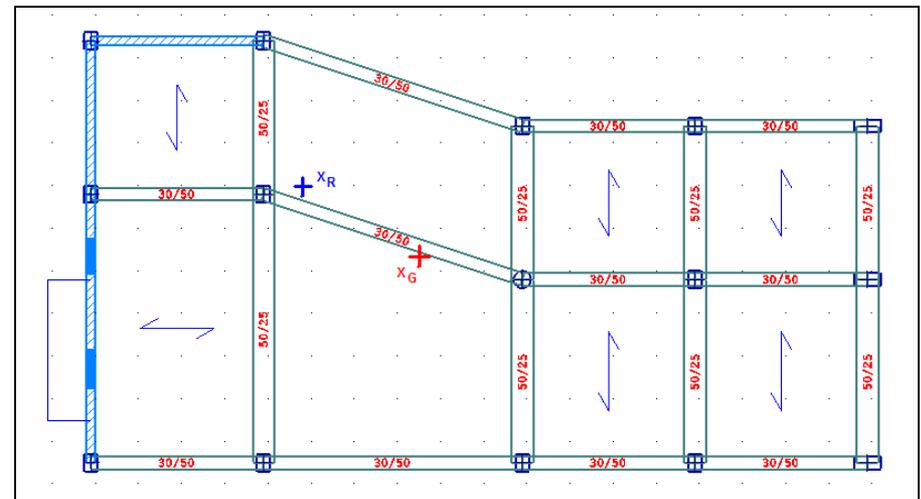


Struttura 2

Baricentro delle Masse e delle Rigidezze

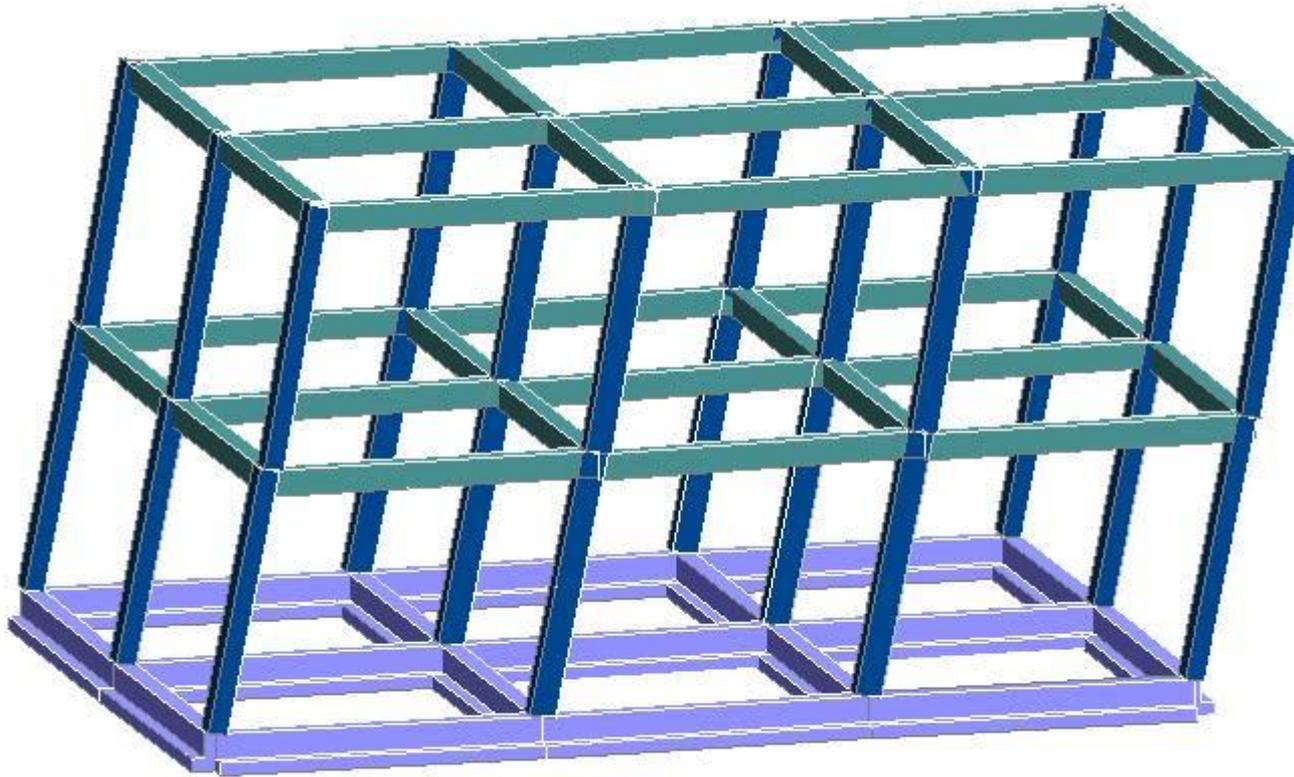


Struttura 1

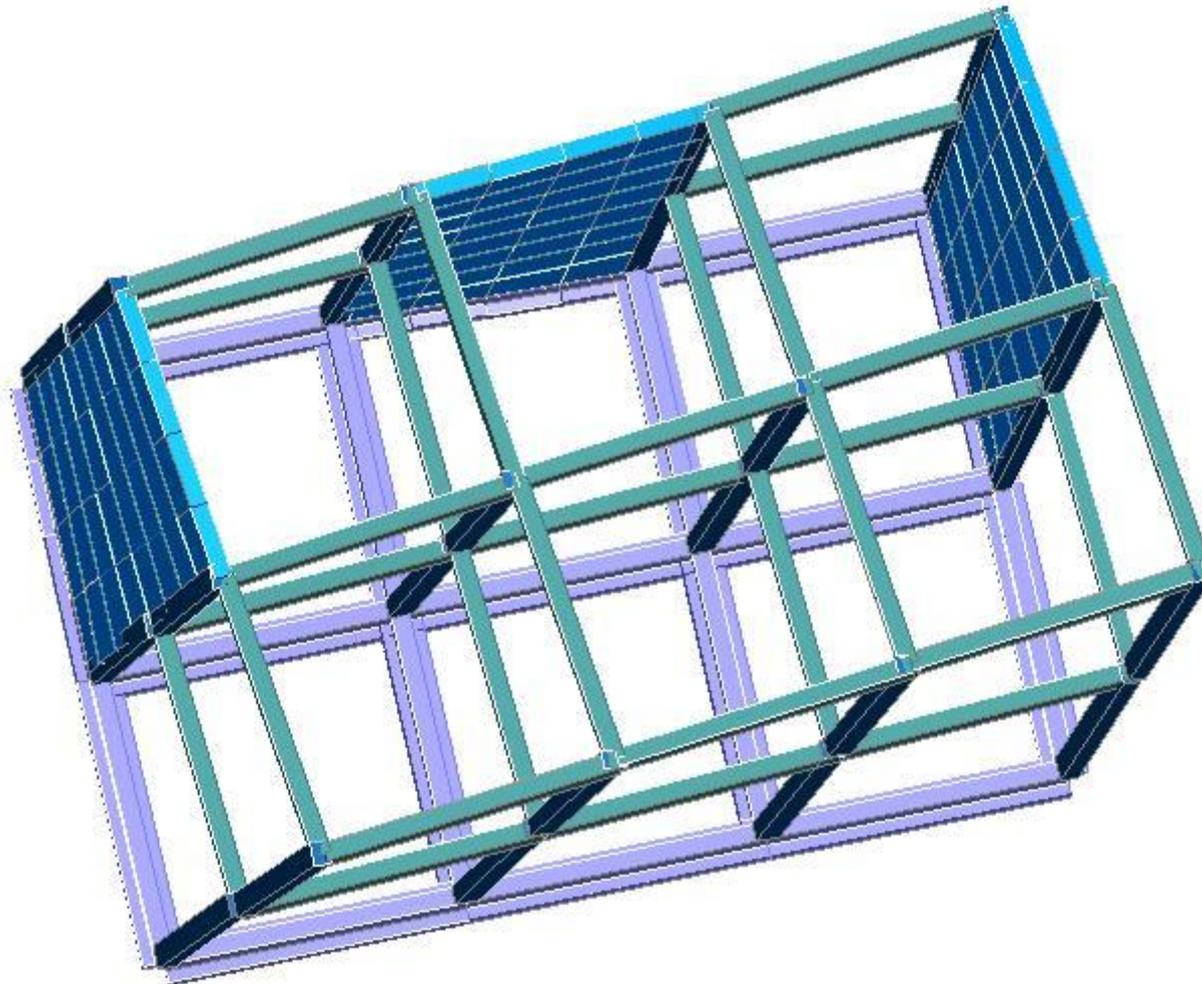


Struttura 2

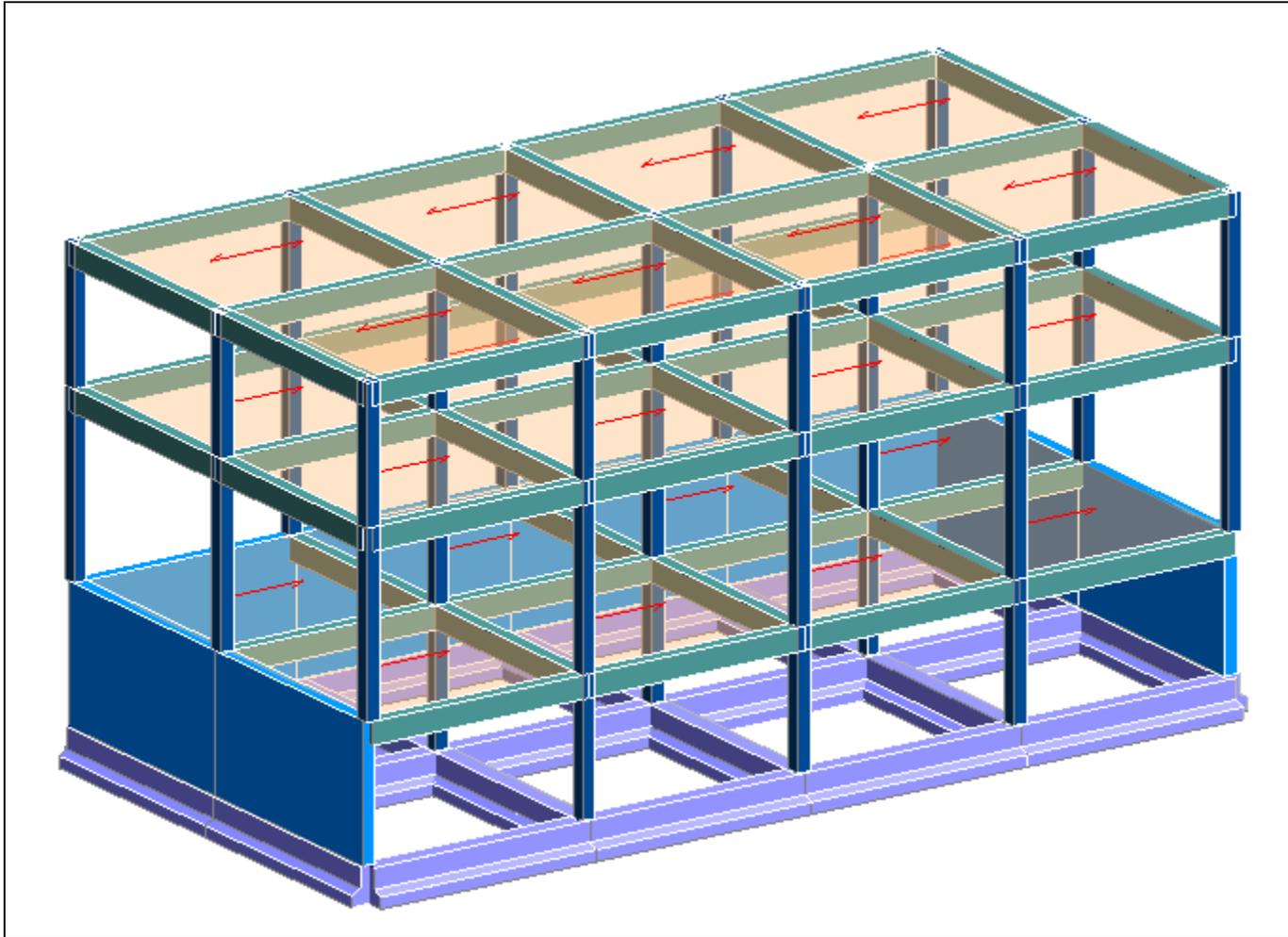
Baricentro delle Masse e delle Rigidezze



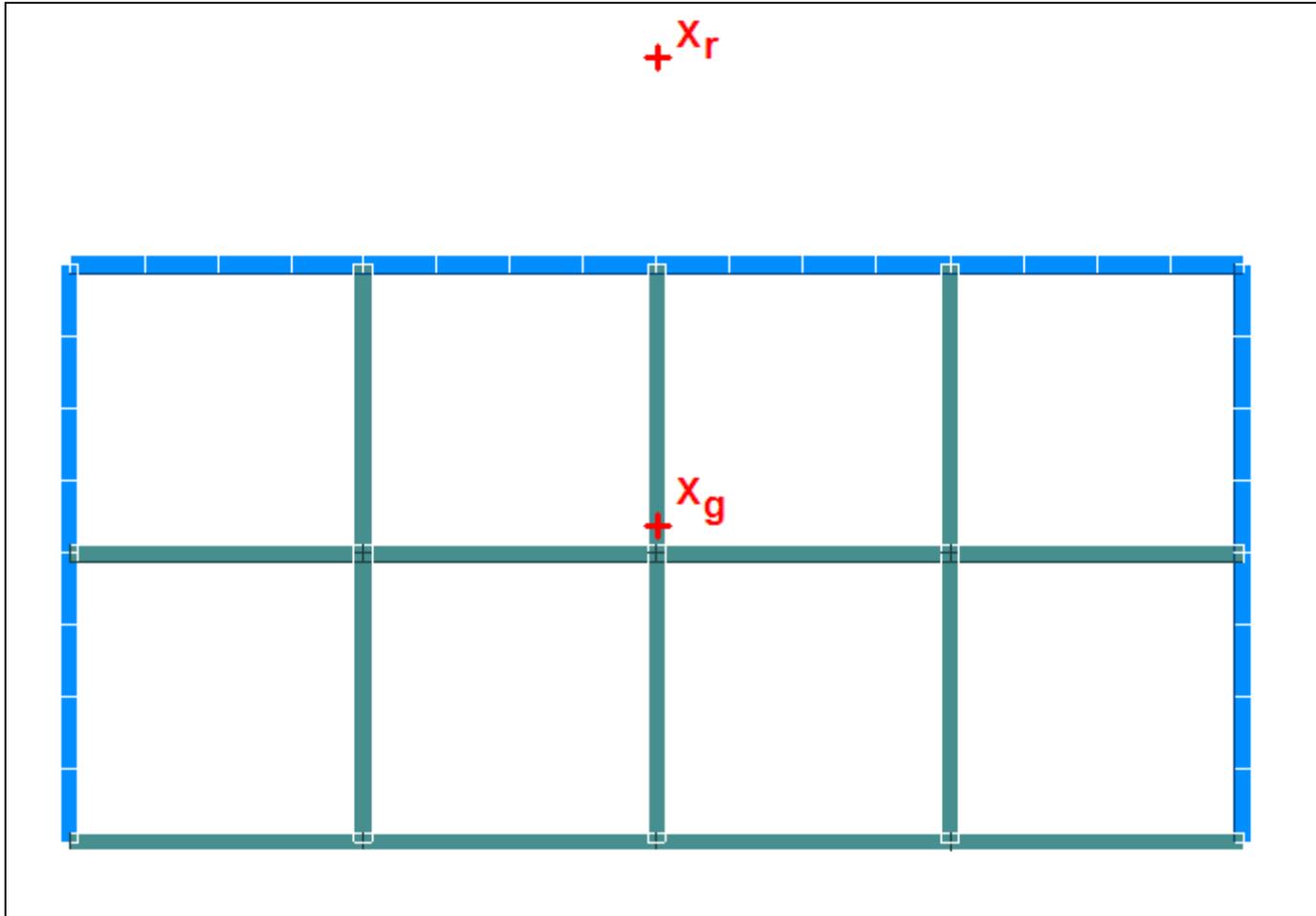
Baricentro delle Masse e delle Rigidezze



Baricentro delle Masse e delle Rigidezze



Baricentro delle Masse e delle Rigidezze

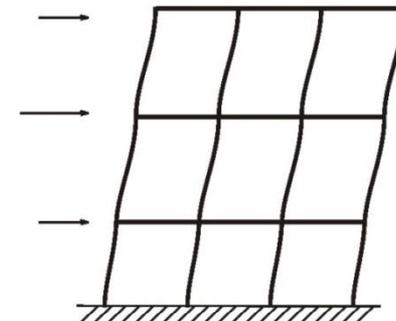
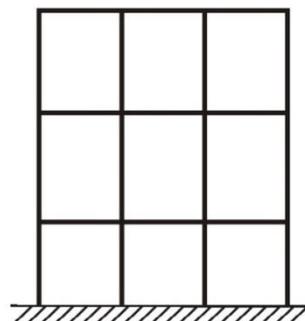
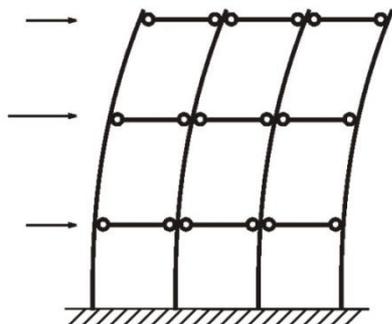
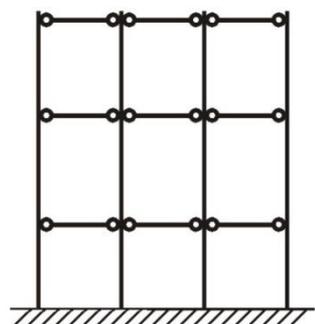
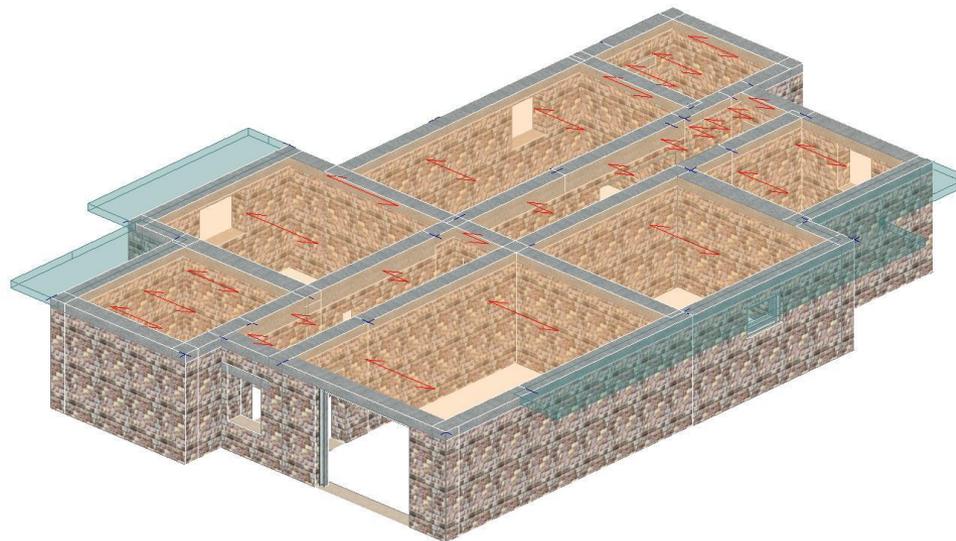




Presenza di cordoli in c.a.



Presenza di cordoli in c.a.



Presenza di cordoli in c.a.



Presenza di cordolo o soletta in c.a.



Presenza di soletta in c.a.



Presenza di soletta in c.a.



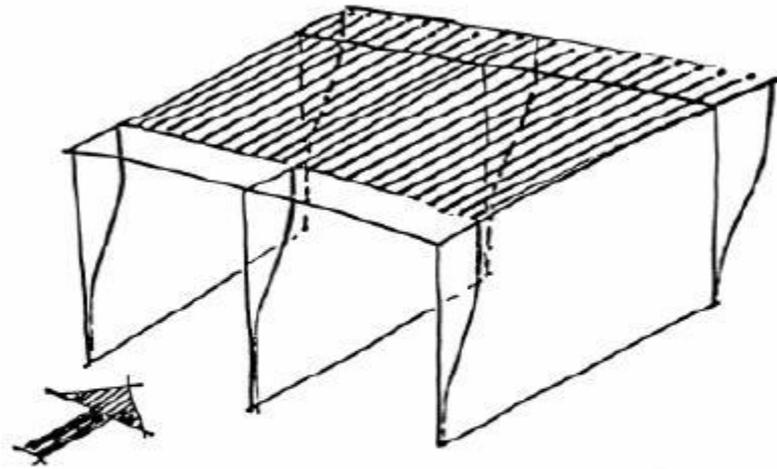
Presenza di cordolo in c.a.



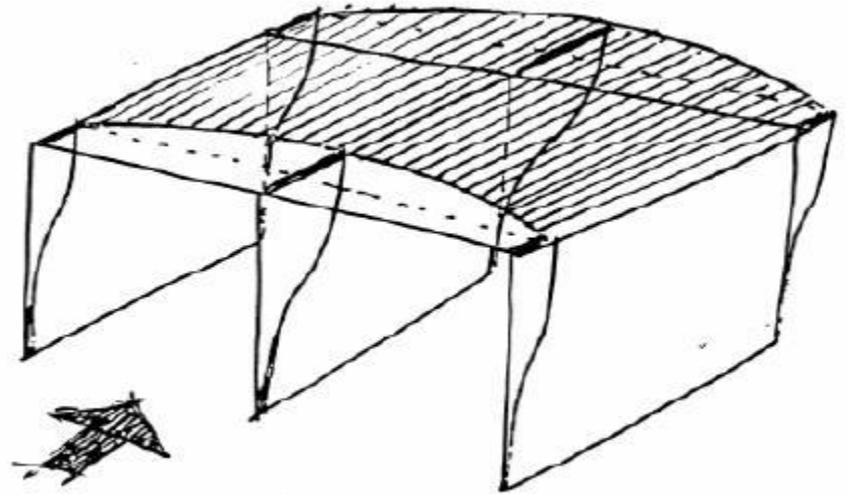
Presenza di cordolo in c.a.



Presenza di cordolo in c.a.

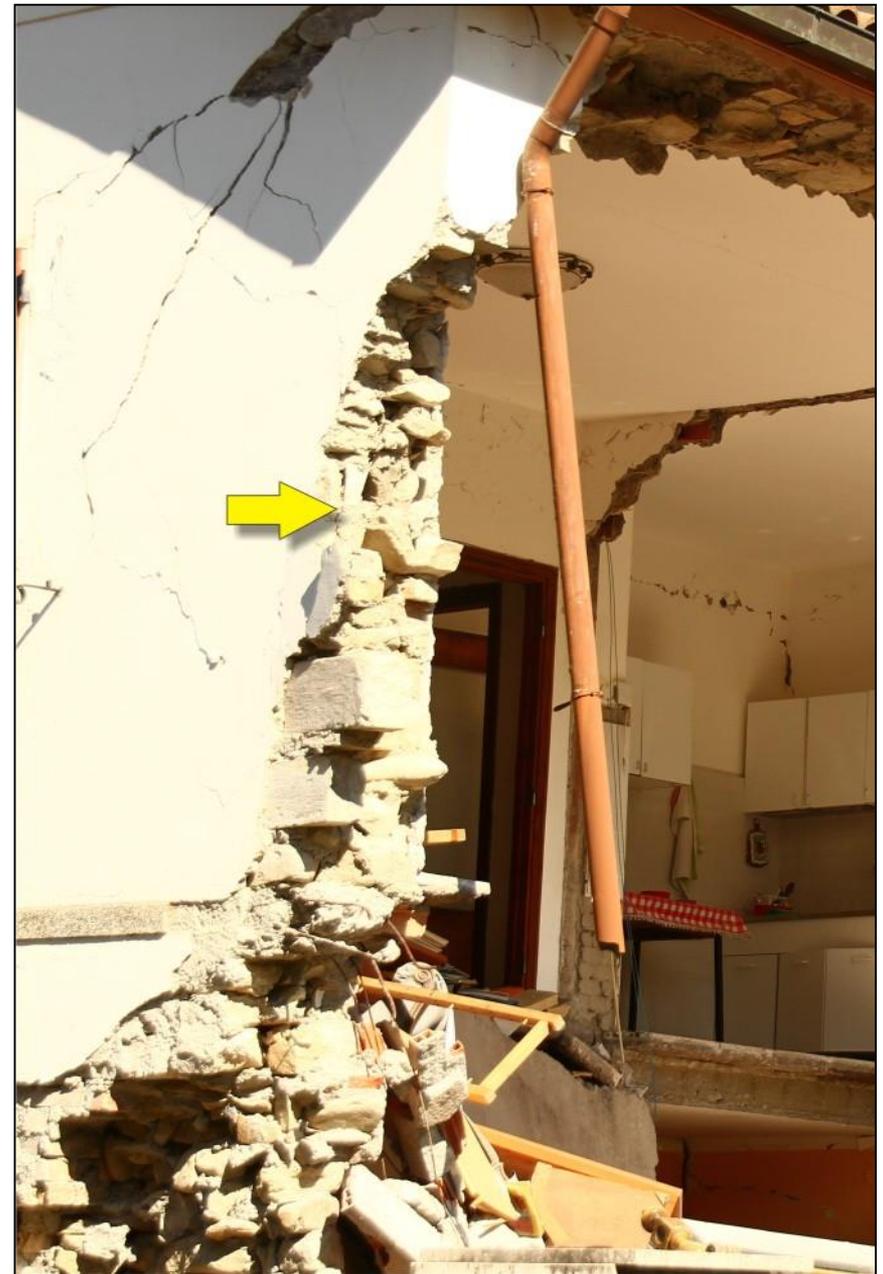


Impalcato Rigido



Impalcato Deformabile

Presenza di soletta in c.a.



Caratteristiche scadenti della muratura



Collasso del solaio



Collasso del solaio



Collasso del solaio per insufficiente ammorsamento sulle pareti



Sopraelevazione inadeguata

Sopraelevazione inadeguata





INTERVENTI SULLE STRUTTURE IN C.A.

8.4.1. Intervento di adeguamento.

È fatto obbligo di procedere alla valutazione della sicurezza e, qualora necessario, all'adeguamento della costruzione, a chiunque intenda:

1. **sopraelevare la costruzione;**
2. **ampliare la costruzione** mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione;
3. apportare **variazioni di classe e/o di destinazione** d'uso che comportino incrementi dei carichi globali in fondazione **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;
4. effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un **insieme sistematico di opere** che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente.

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo.

Una variazione dell'altezza dell'edificio, per la **realizzazione di cordoli sommitali**, sempre che resti immutato il numero di piani, **non è considerata sopraelevazione** o ampliamento, ai sensi dei punti a) e b). In tal caso non è necessario procedere all'adeguamento, salvo che non ricorrano le condizioni di cui ai precedenti punti c) o d).



INTERVENTI SULLE STRUTTURE IN C.A.

8.4.2. Intervento di miglioramento.

Rientrano negli interventi di miglioramento tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate.

È possibile eseguire interventi di miglioramento nei casi in cui non ricorrano le condizioni specificate al paragrafo 8.4.1.

Per i **beni di interesse culturale** (“testimonianze aventi valore di civiltà”) in zone dichiarate a rischio sismico è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.

Il progetto e la valutazione della sicurezza dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

8.4.3. Riparazione o intervento locale.

In generale, gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura e interesseranno porzioni limitate della costruzione. Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati e documentare che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non siano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

La relazione di cui al par. 8.2 che, in questi casi, potrà essere limitata alle sole parti interessate dall'intervento ed a quelle con esse interagenti, dovrà documentare le carenze strutturali riscontrate, risolte e/o persistenti, ed indicare le eventuali conseguenti limitazioni all'uso della costruzione.



Espulsione delle tamponature



Espulsione delle tamponature



Espulsione delle tamponature



Espulsione delle tamponature

TAMPONATURE

N.T.C. 2008 - 7.2.3 CRITERI DI PROGETTAZIONE DI ELEMENTI STRUTTURALI “SECONDARI” ED ELEMENTI NON STRUTTURALI

[...] Con l'esclusione dei soli tamponamenti interni di spessore non superiore a 100 mm, gli elementi costruttivi senza funzione strutturale il cui danneggiamento può provocare danni a persone, devono essere verificati, insieme alle loro connessioni alla struttura, per l'azione sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite considerati. [...]



TAMPONATURE

Circolare Esplicativa - C7.3.6.3 Verifiche degli elementi non strutturali e degli impianti

La prestazione consistente nell'evitare collassi fragili e prematuri e la possibile espulsione sotto l'azione della Fa delle tamponature si può ritenere conseguita con l'inserimento di **leggere reti da intonaco** sui due lati della muratura, collegate tra loro ed alle strutture circostanti a distanza non superiore a 500 mm sia in direzione orizzontale sia in direzione verticale, ovvero con l'inserimento di elementi di **armatura orizzontale nei letti di malta**, a distanza non superiore a 500 mm.





Rottura della trave



Cattiva qualità dei materiali



Cattiva qualità dei materiali



Cattiva qualità dei materiali

Cattiva qualità dei materiali





Rottura del nodo trave-pilastro

VERIFICHE DI RESISTENZA

(IL NODO TRAVE-PILASTRO CONFINATO O NON CONFINATO)

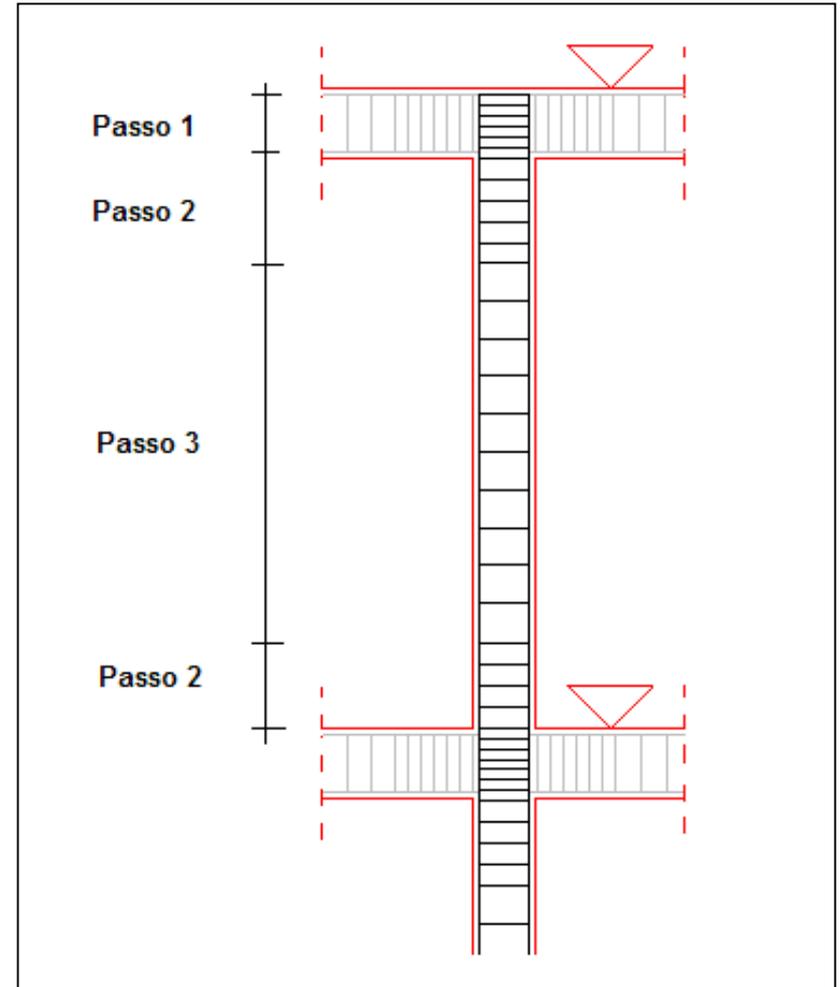
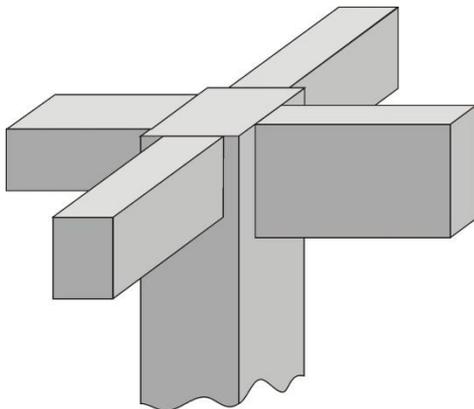
N.T.C. 2008 - 7.4.4.3. – Nodi trave-pilastro

$$\frac{A_{sh} \cdot f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}} \geq \frac{[V_{jbd} / (b_j \cdot h_{jc})]^2}{f_{ctd} + v_d \cdot f_{cd}} - f_{ctd}$$

A_{sh} = area totale sezione staffe

V_{jbd} = Taglio agente nel nucleo di cls del nodo

La verifica di resistenza del nodo deve essere effettuata per le sole strutture in CD"A".

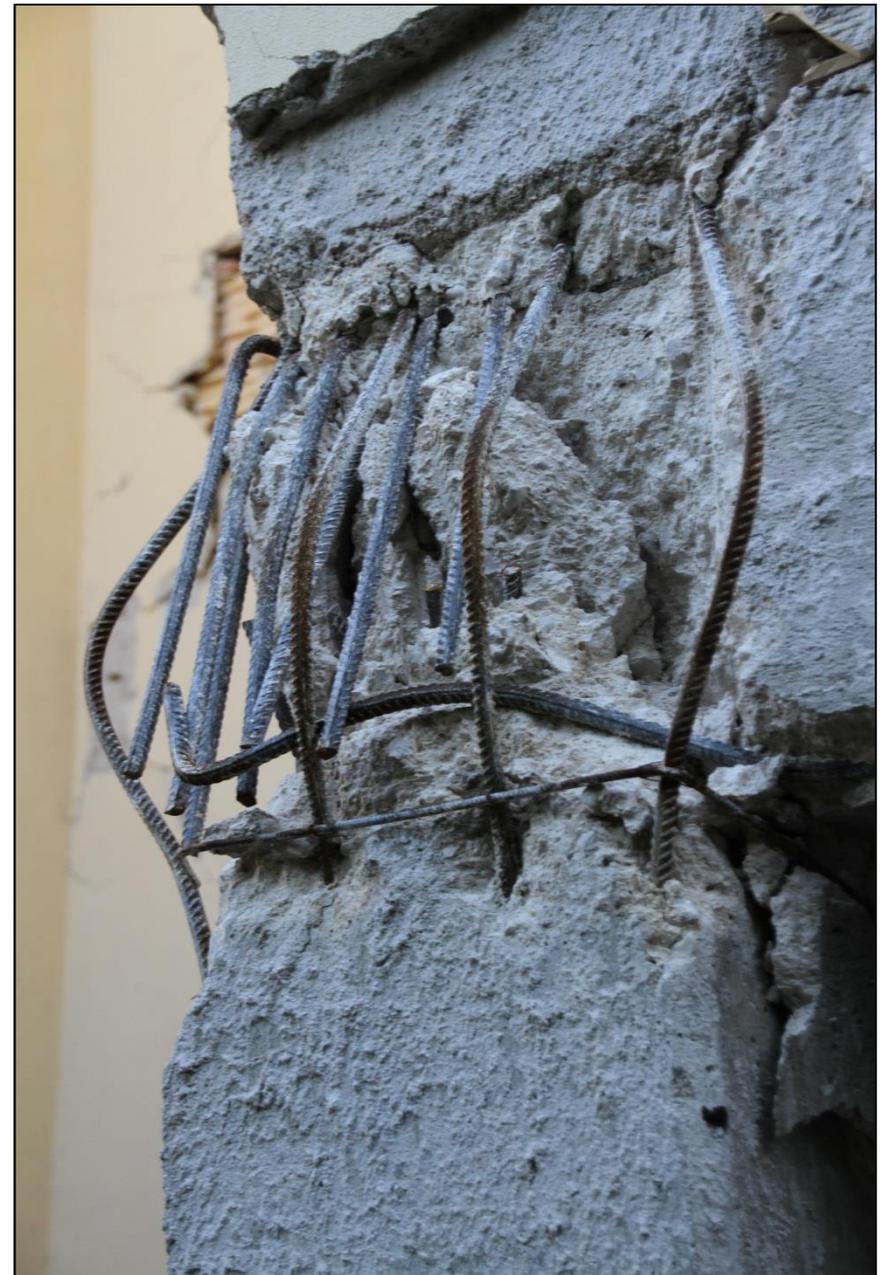




Rottura del nodo trave-pilastro

Rottura del nodo trave-pilastro





Rottura del nodo trave-pilastro



Rottura del nodo trave-pilastro



Piano soffice



Piano soffice

PIANO SOFFICE

Qualora la distribuzione di tali elementi sia fortemente irregolare in altezza deve essere considerata la possibilità di forti concentrazioni di danno ai livelli caratterizzati da significativa riduzione del numero di tali elementi rispetto ai livelli adiacenti. Questo requisito si intende soddisfatto incrementando di un fattore 1,4 le azioni di calcolo per gli elementi verticali (pilastri e pareti) dei livelli con riduzione dei tamponamenti.



Incremento del 40% delle azioni di calcolo sugli elementi verticali (pilastri e pareti) dei piani soffici.



Piano soffice



Piano soffice

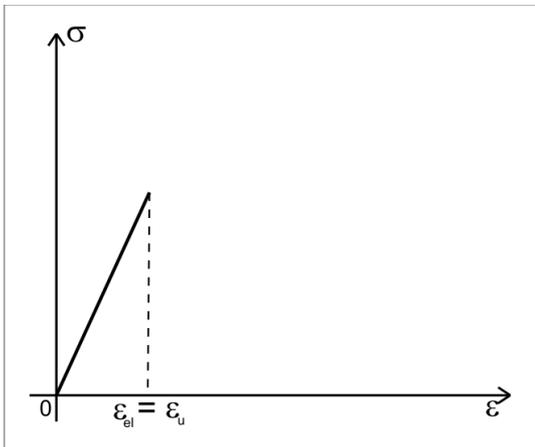


Piano soffice

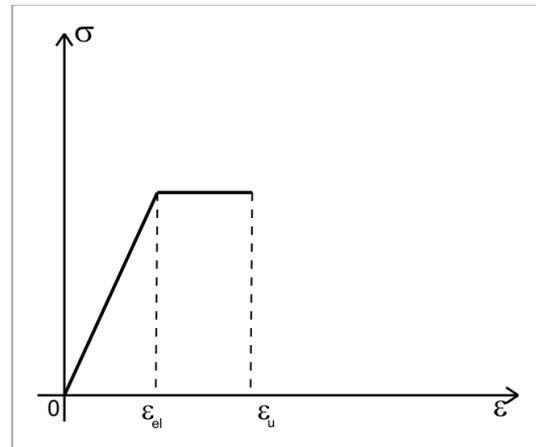


Piano soffice

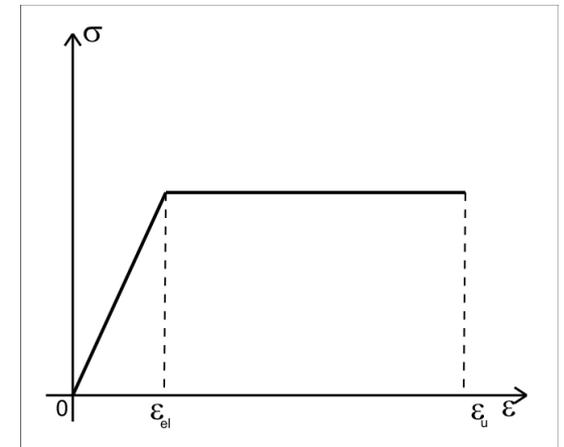
Duttilità strutturale



Comportamento fragile



Comportamento poco duttile

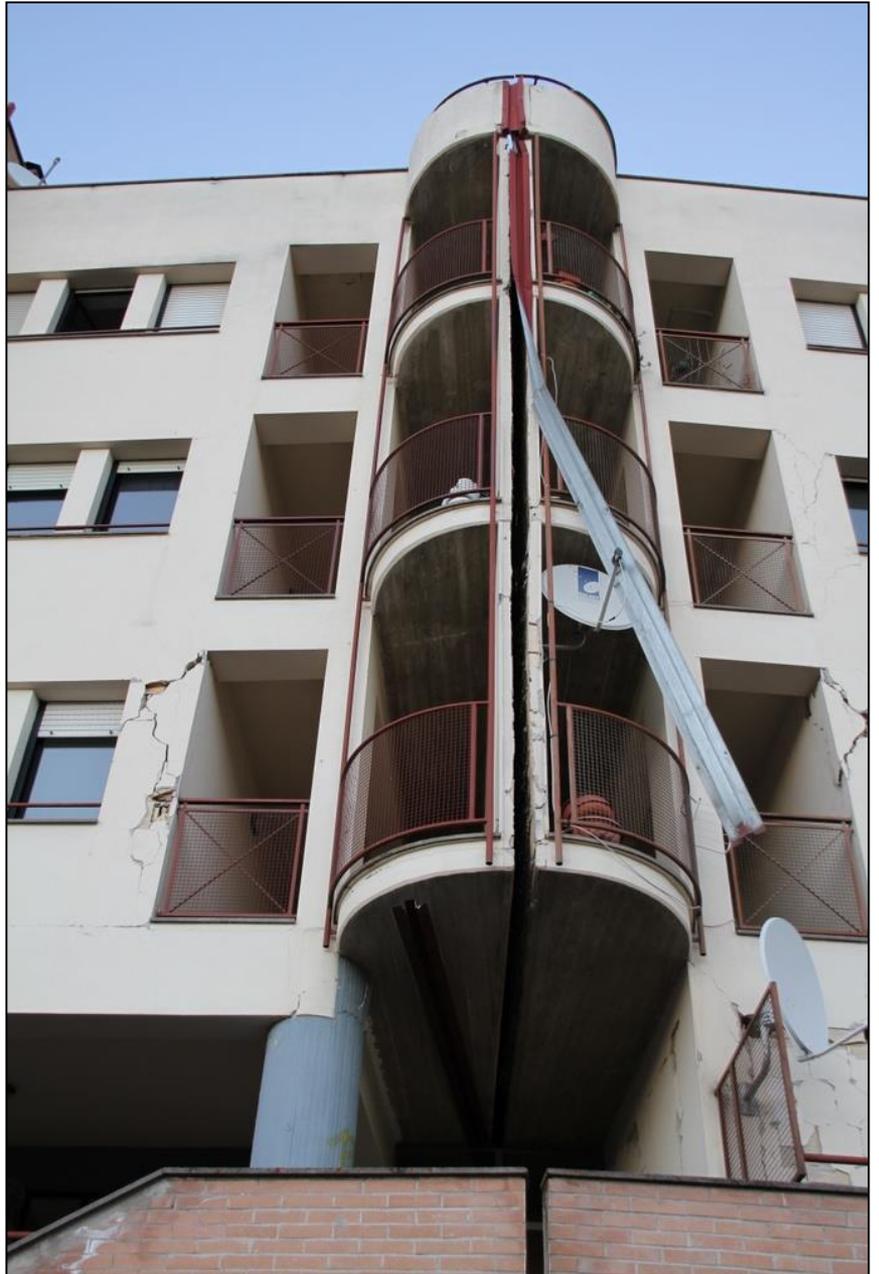


Comportamento molto duttile



Piano soffice

Piano soffice





Piano soffice



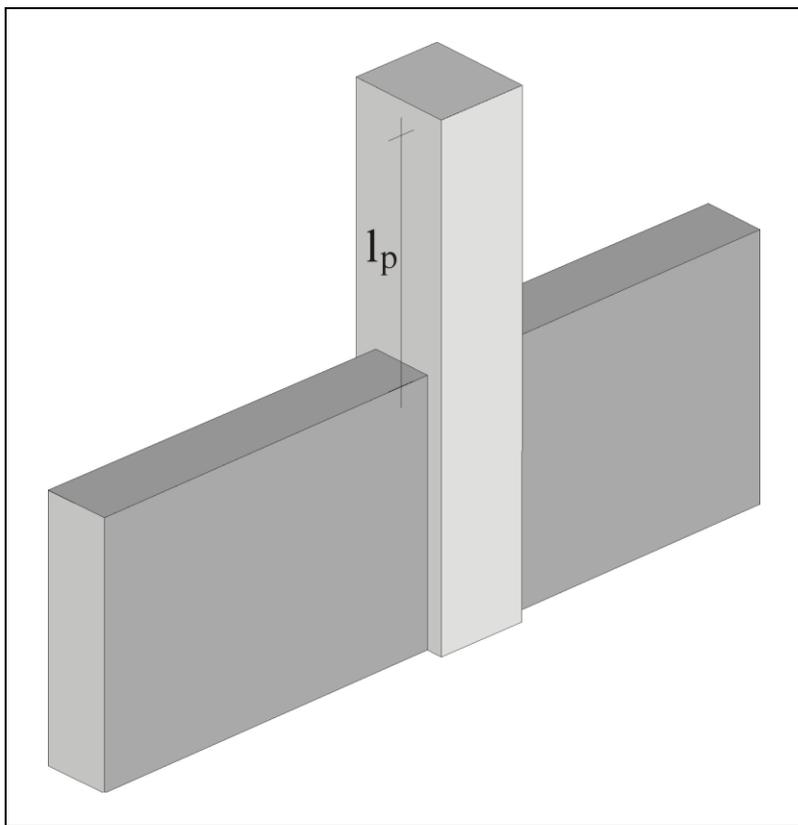
Piano soffice



Piano soffice



REQUISITI ADDIZIONALI PER EDIFICI CON TAMPONAMENTI IN MURATURA



Nel caso in cui i tamponamenti non si estendano per l'intera altezza dei pilastri adiacenti, gli sforzi di taglio da considerare per la parte del pilastro priva di tamponamento dovranno essere calcolati utilizzando la relazione seguente:

$$V = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{Rp}^s + M_{Rp}^i}{l_p}$$

$$\gamma_{Rd} = 1,20$$

M_{Rp}^s = momento resistente nella sezione di estremità superiore

M_{Rp}^i = momento resistente nella sezione di estremità inferiore

l_p = altezza della parte di pilastro priva di tamponamento



‘Cuci e scuci’ sulla muratura



‘Cuci e scuci’ sulla muratura



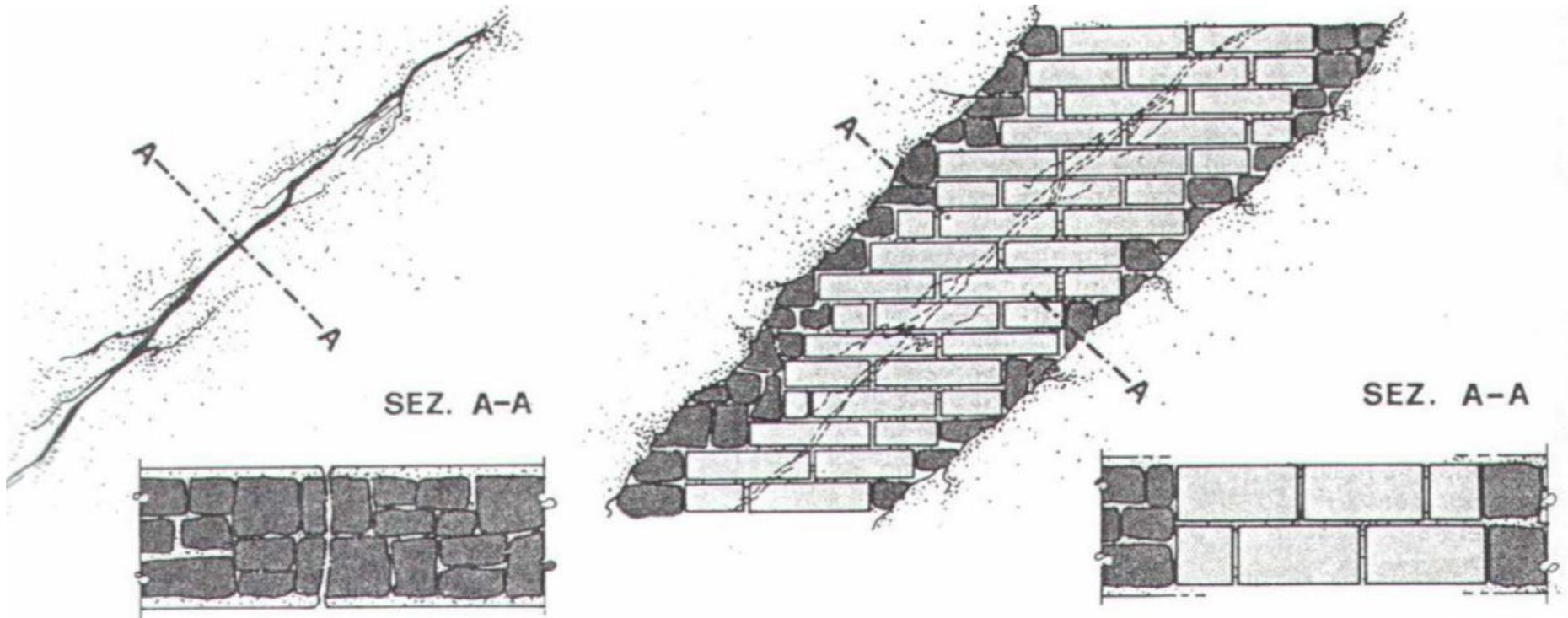
INTERVENTI SULLE STRUTTURE IN MURATURA

- “Cuci-Scuci” -

L'intervento consiste nel **ripristinare zone limitate di murature lesionate o degradate** attraverso la rimozione degli elementi (lapidei o laterizi) degradati e la realizzazione di una nuova tessitura muraria con elementi sani senza interrompere la funzione statica della muratura nel corso dell'applicazione.

Gli elementi sani devono avere caratteristiche simili a quelli originali sia geometriche (forma e dimensione) che meccaniche. È necessario l'utilizzo di malte a ritiro nullo o leggermente espansive.

L'intervento deve seguire ad un'analisi del dissesto e **deve essere accompagnato ad altri interventi che ne eliminino le cause.**





‘Cuci e scuci’ sulla muratura



Mancato ammorsamento fra le pareti

Mancato ammorsamento fra le pareti





Mancato ammorsamento fra le pareti



Mancato ammorsamento fra le pareti



Disomogeneità dei materiali



Disomogeneità dei materiali – Muratura confinata

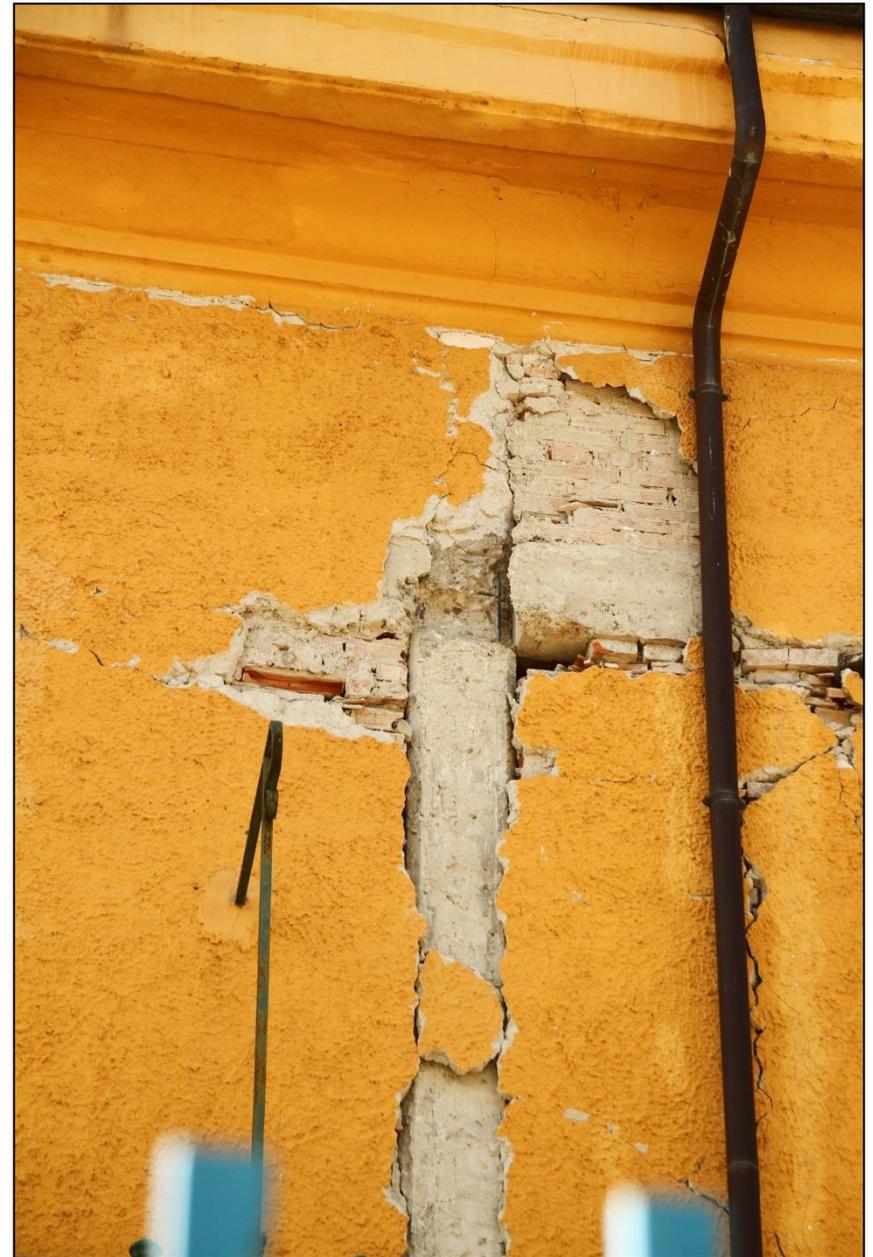


Disomogeneità dei materiali – Muratura confinata

Disomogeneità dei materiali –
Muratura confinata



Disomogeneità dei materiali –
Muratura confinata



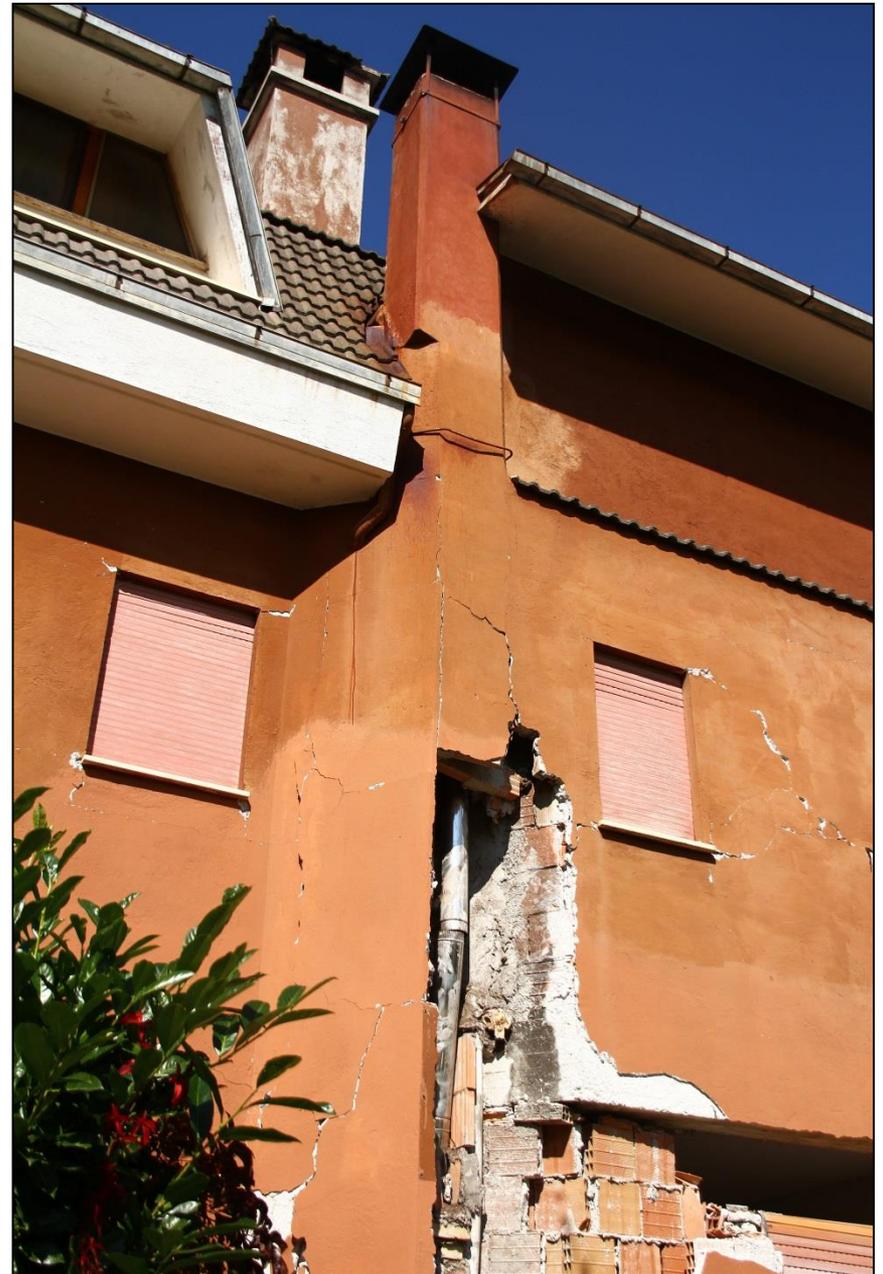


Disomogeneità dei materiali – Muratura confinata



Collassi secondari

Collassi secondari



Collassi secondari





Collassi secondari



Caserma dei Carabinieri di Amatrice



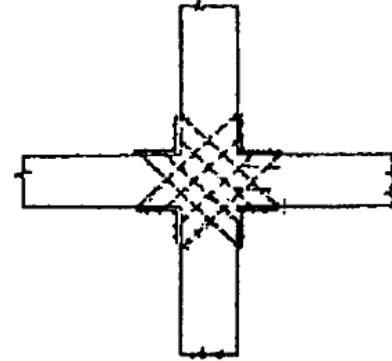
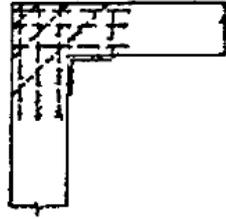
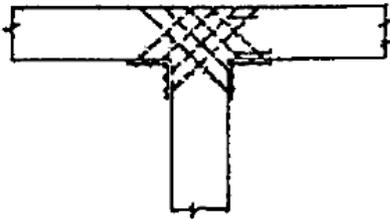
Presenza di Tiranti



Presenza di Iniezioni Armate

INTERVENTI SULLE STRUTTURE IN MURATURA

- Iniezioni armate -



Iniezioni armate per ripristino delle intersezioni murarie.



Iniezioni armate per consolidamento di una volta a botte.

Presenza di Iniezioni Armate





Presenza di Iniezioni Armate

Scala con trave a ginocchio





Distacco della tamponatura

www.angelobiondi.com