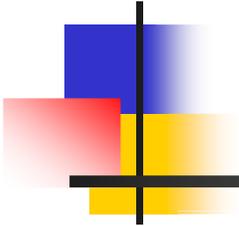


Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pistoia
Corso sulla Vulnerabilità Sismica



Modelli evolutivi per la verifica del rischio di edifici esistenti

Quaderno 6 Valutazione di edifici esistenti

Prof. Enrico Spacone

Dipartimento di Ingegneria e Geologia
Università degli Studi "G. D'Annunzio" Chieti-Pescara

DIPARTIMENTO DI

INGEGNERIA
E GEOLOGIA

31 Maggio 2013



La vulnerabilità sismica di edifici esistenti in cemento armato

- La valutazione della sicurezza sismica secondo le NTC 2008 e la Circolare 617/2009



EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

- **VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA (Criteri generali)**
- **LA GEOMETRIA DELL'EDIFICIO ED I MATERIALI UTILIZZATI**
- **DEFINIZIONE DELLE AZIONI AGENTI SULLA STRUTTURA E DEL MODELLO GEOMETRICO**
- **ANALISI DELLA STRUTTURA SECONDO LE NTC 2008 (e Circolare 617/2009)**
 - **Analisi Lineari**
 - **Analisi Non Lineari**
- **EDIFICI DI INTERESSE STRATEGICO**



*Terremoto Molise 2002,
Bonefro: gravi danni al
c.a.*

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Esempio applicativo

Dati generali

Localizzazione dell'edificio	Bonefro (CB)
Anno di costruzione	1983-84
Destinazione d'uso	Civile abitazione

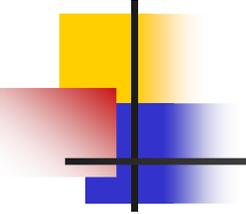


Edificio danneggiato dal sisma del Molise 2002



Caratteristiche strutturali

Fondazione	Travi rovesce
Struttura in elevazione	Telai in c.a.
Dimensione in pianta	20.9 x 9.7
Numero piani	4 + copertura a falde
H interpiani	3.7; 3.1; 3.1; 3.1 m
H totale	14.65 m
Solaio	Latero-cemento



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

8.3. NTC 2008; “Valutazione della Sicurezza”

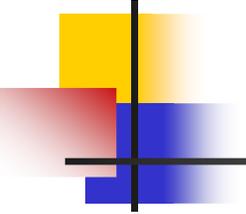
- La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguiti con riferimento ai sol **SLU**
- Le verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC).

✓ **SL di Collasso (SLC)**

a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

✓ **SL di Salvaguardia della Vita (DS)**

a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

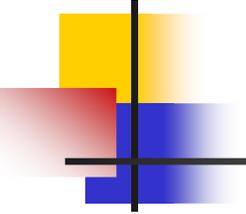


VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Quando eseguire le valutazioni della sicurezza

Le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a valutazione della sicurezza quando ricorra anche una delle seguenti situazioni:

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni), situazioni di funzionamento ed uso anomalo, deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione;
- provati gravi errori di progetto o di costruzione;
- cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione;
- interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidità.



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Quando eseguire le valutazioni della sicurezza

Le NTC individuano due grandi categorie di situazioni nelle quali è obbligatorio effettuare la verifica di sicurezza, essendo entrambe le categorie comunque riconducibili ad un significativo peggioramento delle condizioni di sicurezza iniziali o di progetto secondo la normativa dell'epoca della costruzione:

- variazioni, improvvise o lente, indipendenti dalla volontà dell'uomo (ad esempio: danni dovuti al terremoto, a carichi verticali eccessivi, a urti, etc., danni dovuti a cedimenti fondali, degrado delle malte nella muratura, corrosione delle armature nel c.a., etc., errori progettuali o esecutivi, incluse le situazioni in cui i materiali o la geometria dell'opera non corrispondano ai dati progettuali);
- variazioni dovute all'intervento dell'uomo, che incide direttamente e volontariamente sulla struttura oppure sulle azioni (ad esempio: aumento dei carichi verticali dovuto a cambiamento di destinazione d'uso), o che incide indirettamente sul comportamento della struttura (ad esempio gli interventi non dichiaratamente strutturali, già discussi nel § 8.2 delle NTC).

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

8.5. “Procedure per la valutazione della sicurezza”

1) Rilievo

2) Materiali e dettagli strutturali

3) Carichi ed Azioni

4) Determinazione di S_e

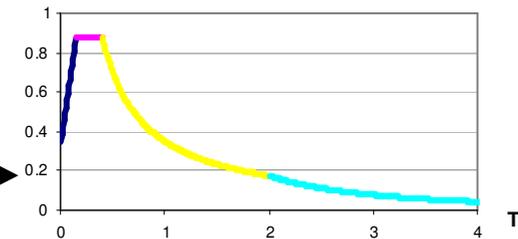
5) Metodo di analisi

6) Valutazione della capacità

7) Verifica della struttura

8) Decisione sull'intervento

Livello di
conoscenza
(LC)



Analisi statica lineare

Analisi dinamica modale

Analisi statica non lineare

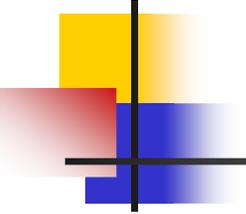
Analisi dinamica non lineare

EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

- VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA (Criteri generali)
- LA GEOMETRIA DELL'EDIFICIO ED I MATERIALI UTILIZZATI
- DEFINIZIONE DELLE AZIONI AGENTI SULLA STRUTTURA E DEL MODELLO GEOMETRICO
- ANALISI DELLA STRUTTURA SECONDO LE NTC 2008 (e Circolare 617/2009)
 - Analisi Lineari
 - Analisi Non Lineari
- EDIFICI DI INTERESSE STRATEGICO



Terremoto Molise 2002, Bonefro: gravi danni al c.a.



LIVELLI DI CONOSCENZA

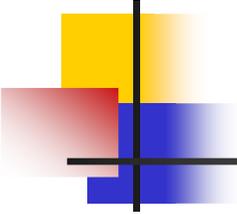
Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza, richiamati in C8.7.2.1, si distinguono i tre livelli di conoscenza seguenti:

- **LC1: Conoscenza Limitata;**
- **LC2: Conoscenza Adeguata;**
- **LC3: Conoscenza Accurata.**

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono:

- geometria, ossia le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali,
- dettagli strutturali, ossia la quantità e disposizione delle armature, compreso il passo delle staffe e la loro chiusura, per il c.a., i collegamenti per l'acciaio, i collegamenti tra elementi strutturali diversi, la consistenza degli elementi non strutturali collaboranti,
- materiali, ossia le proprietà meccaniche dei materiali.

Il livello di conoscenza acquisito determina il metodo di analisi e i fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali. Le procedure per ottenere i dati richiesti sulla base dei disegni di progetto e/o di prove in-situ sono descritte nel seguito per gli edifici in c.a. e acciaio.



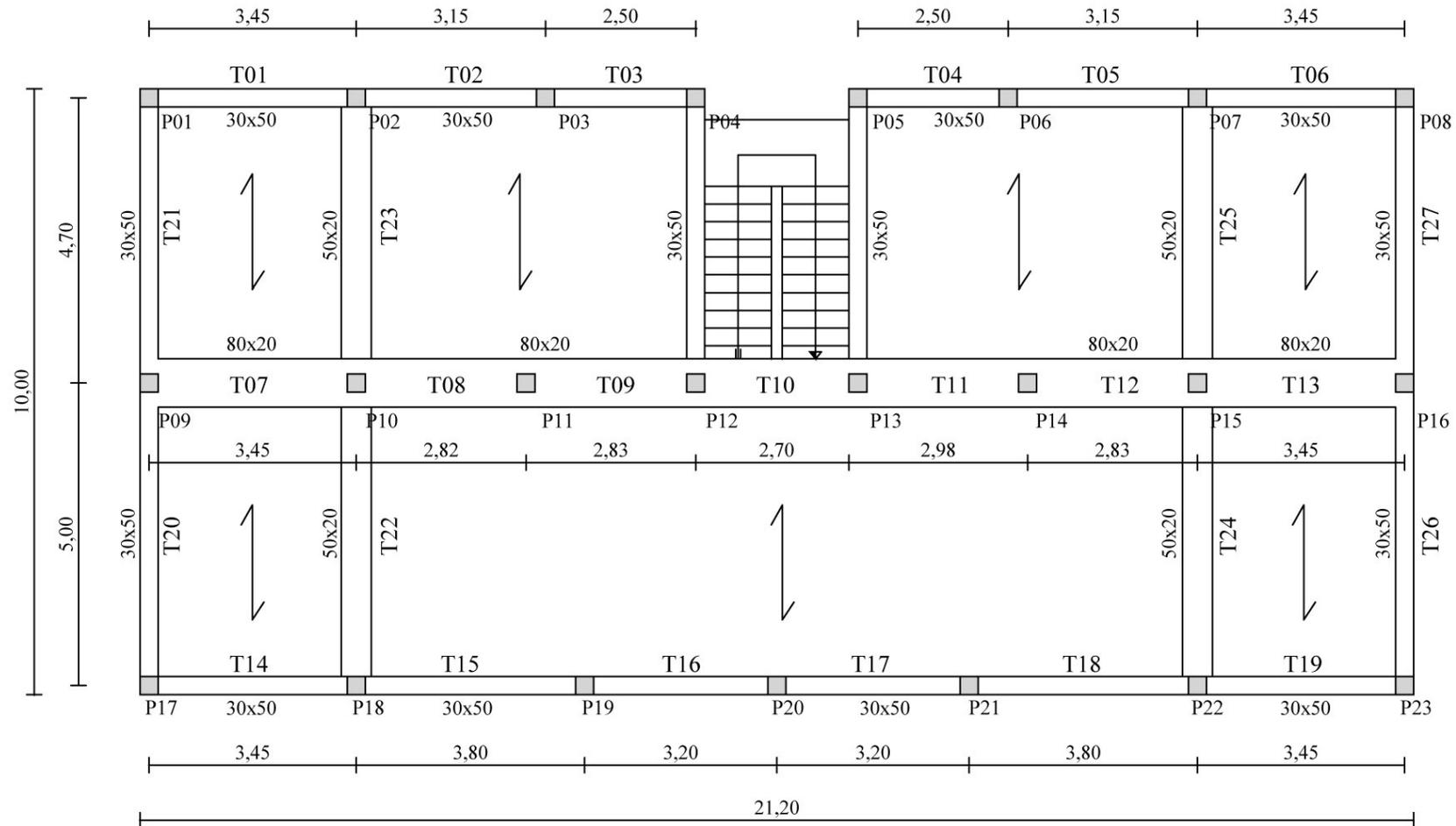
LIVELLI DI CONOSCENZA

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure <i>estese</i> verifiche in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in situ oppure <i>estese</i> prove in situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure <i>esaustive</i> verifiche in situ	Da certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con <i>estese</i> prove in situ oppure <i>esaustive</i> prove in situ	Tutti	1.00

Tabella C8A.1.2 – 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

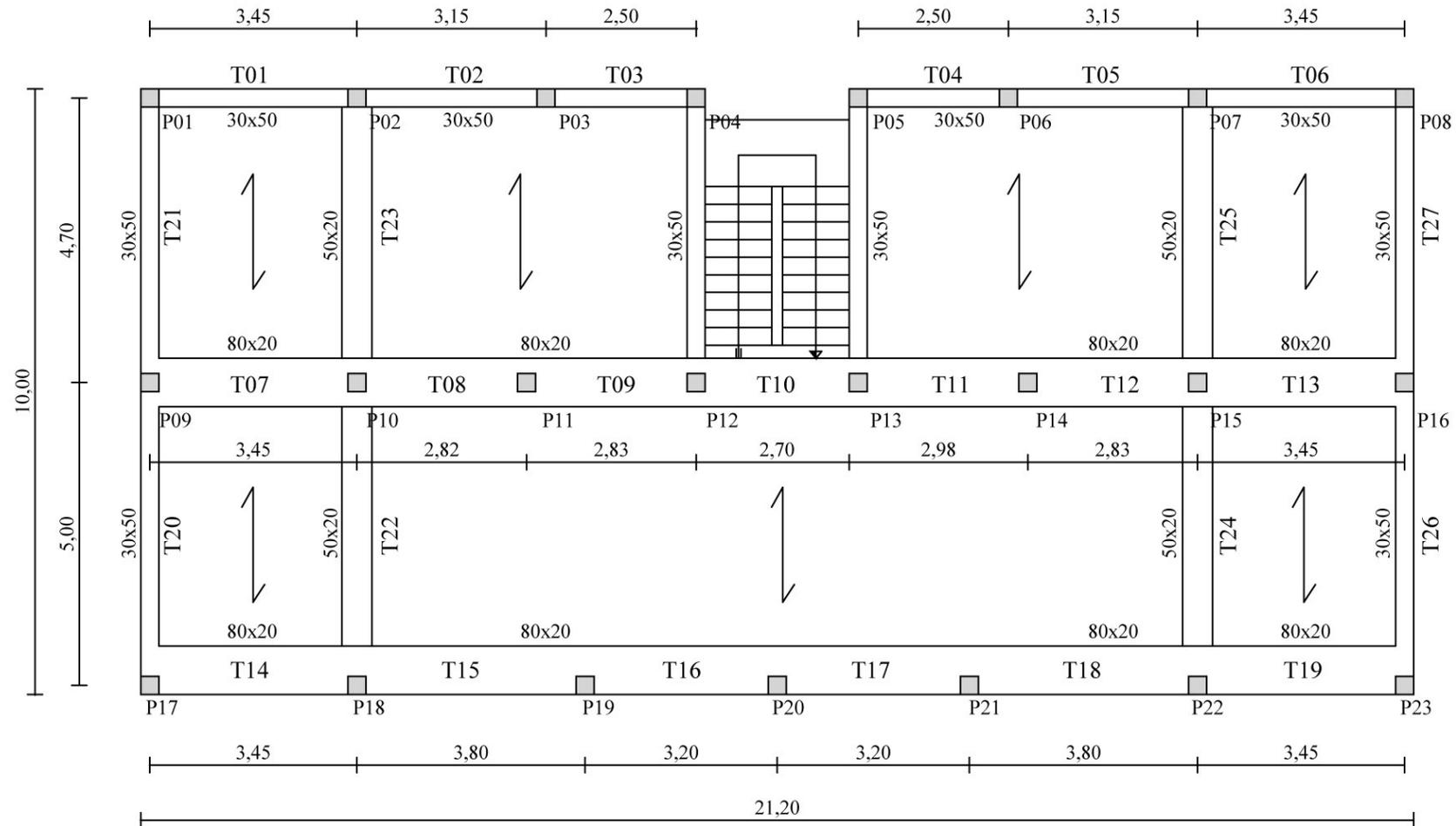
GEOMETRIA - CARPENTERIE ORIGINALI

Pianta primo impalcato



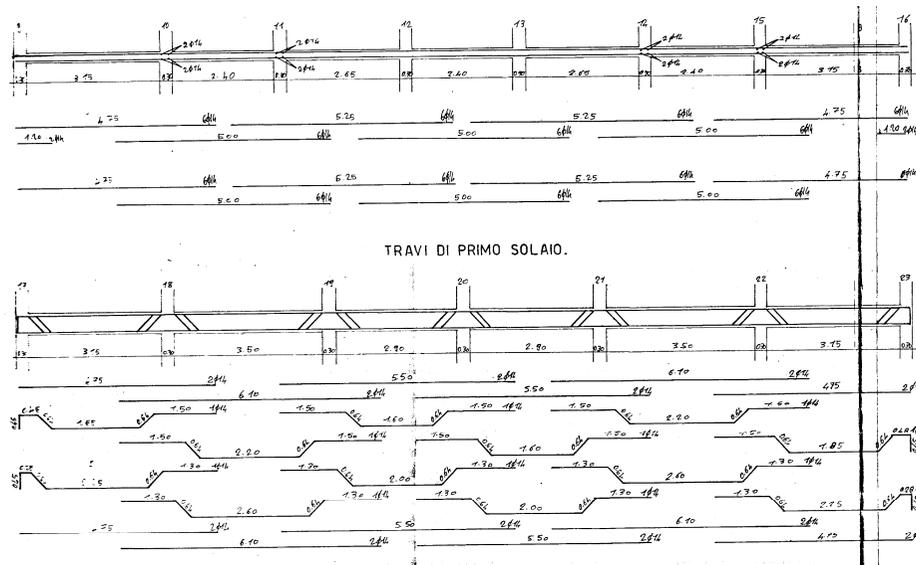
GEOMETRIA - CARPENTERIE ORIGINALI

Pianta piano tipo

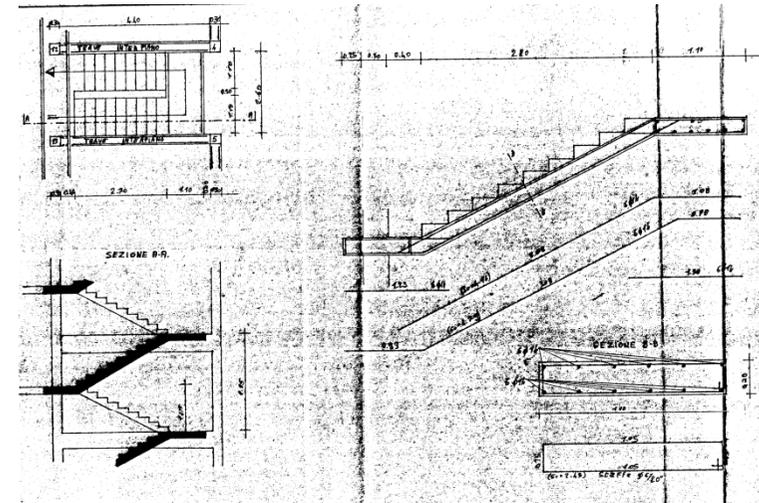


GEOMETRIA - CARPENTERIE ORIGINALI

travi

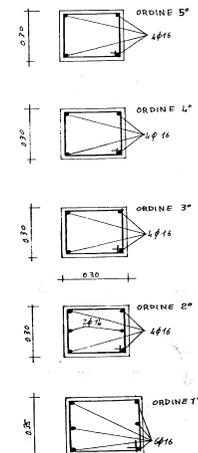


scala

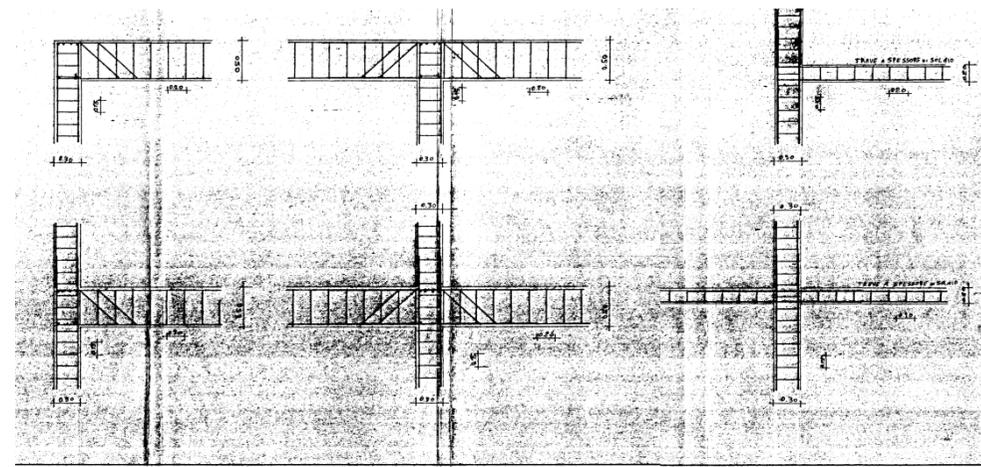


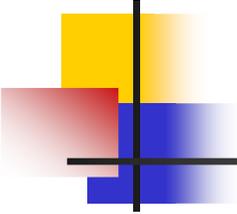
pilastri

PILASTRI	1-2-3-4-5-6-7-8		9-10-11-12	
	17-18-19-20-21-22-23		13-14-15-16	
ORDINE 5°				
DIMENSIONI		30x30		
ARMATURA		4φ16		
STAFFE		φ1/10"		
ORDINE 4°		30x30	30x30	
DIMENSIONI				
ARMATURA		4φ16	4φ16	
STAFFE		φ1/10"	φ1/10"	
ORDINE 3°		30x30	30x30	
DIMENSIONI				
ARMATURA		4φ16	4φ16	
STAFFE		φ1/10"	φ1/10"	
ORDINE 2°		30x30	30x30	
DIMENSIONI				
ARMATURA		4φ16	4φ16	
STAFFE		φ1/10"	φ1/10"	
ORDINE 1°		35x35	35x35	
DIMENSIONI				
ARMATURA		4φ16	4φ16	
STAFFE		φ1/10"	φ1/10"	



nodi





PROPRIETA' DEI MATERIALI

	Rilievo (dei collegamenti)	Prove (sui materiali)
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)	
Verifiche <i>limitate</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
Verifiche <i>estese</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
Verifiche <i>esaustive</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

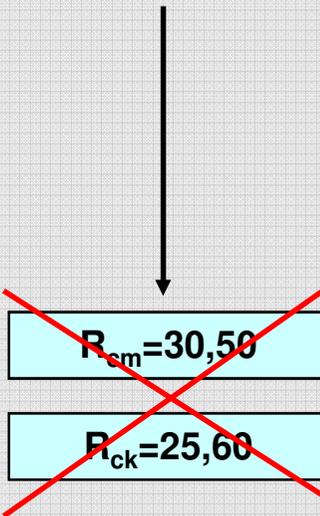
Tabella C8A.1.3a – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.

PROPRIETA' DEI MATERIALI

MODELLAZIONE DEL CLS

RESITENZA A COMPRESSIONE DEL CLS

LUGLIO 1984
PROVINI CUBICI
CERTIFICATI



DEVIAZ. STAND. = 2,3

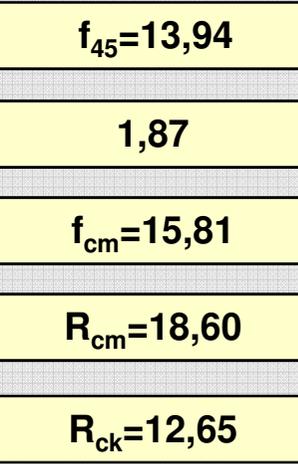
MEDIA CILINDRICA SU
10 MICROCAROTE

RESISTENZA
CILINDRICA MEDIA

RESISTENZA
CUBICA MEDIA

RESISTENZA CUBICA
CARATTERISTICA

FEBBR. 2003
MICROCAROTE
CILINDRICHE



MICROCAROTAGGIO

- diametro di 28mm
- diametro di 45mm
- diametro di 70mm

EFFETTO SCALA DOVUTO AL
MICROCATOTAGGIO (45mm)

$f_{cm} = 1,048 + 1,058 f_{45}$

"MATERIALS AND
STRUCTURES"
(F. INDELICATO)

ACI MATERIALS JOURNAL

MODULO ELASTICO

$E_c = 5700 \sqrt{f_{cm}} = 22664 \text{ Mpa}$

EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

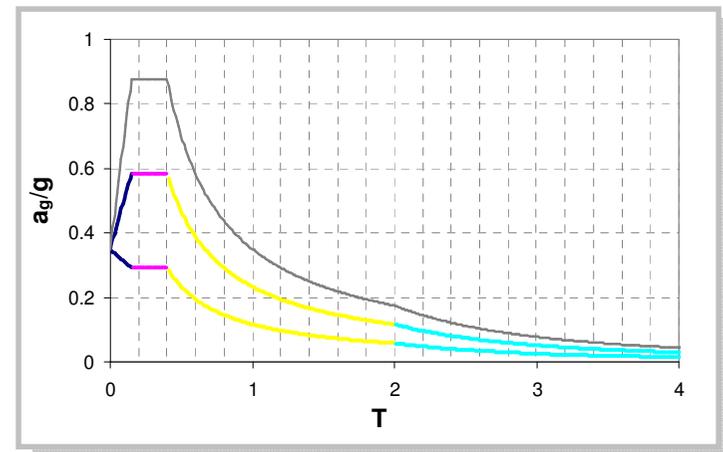
- VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA (Criteri generali)
- LA GEOMETRIA DELL'EDIFICIO ED I MATERIALI UTILIZZATI
- **DEFINIZIONE DELLE AZIONI AGENTI SULLA STRUTTURA E DEL MODELLO GEOMETRICO**
- ANALISI DELLA STRUTTURA SECONDO LE NTC 2008 (e Circolare 617/2009)
 - Analisi Lineari
 - Analisi Non Lineari
- EDIFICI DI INTERESSE STRATEGICO



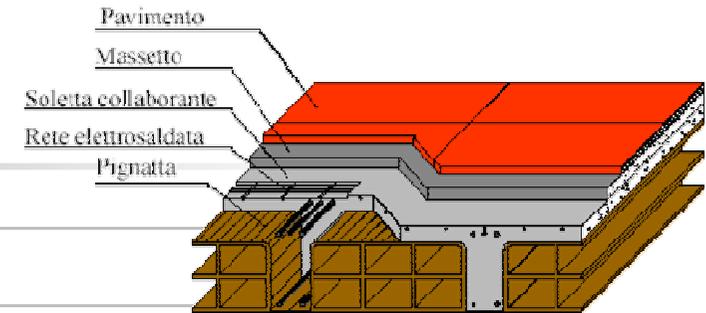
*Terremoto Molise 2002,
Bonefro: gravi danni al
c.a.*

Definizione delle azioni agenti sulla struttura e del modello geometrico

- **Analisi dei carichi**
- **Azione sismica**
- **Massa sismica**
- **Regolarità della struttura**
- **Modellazione della struttura**



ANALISI DEI CARICHI



Piani 1-2-3

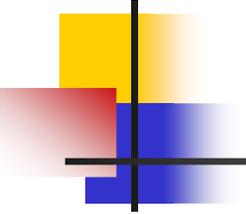
Peso Proprio soletta	2.82 KN/m ²
Carichi Permanenti	2.80 KN/m ²
Carichi Variabili	2.00 KN/m ² 4.00 KN/m ² (balcone)

Piano 4 (sottotetto)

Peso Proprio soletta	2.82 KN/m ²
Carichi Permanenti	0.3 KN/m ²
Carichi Variabili	2.00 KN/m ² 4.00 KN/m ² (balcone)

Copertura

Peso Proprio soletta	3.25 KN/m ²
Carichi Permanenti	2.07 KN/m ²



AZIONE SISMICA

NTC 2008; 3.2.2 Categorie di Sottosuolo e Condizioni Topografiche

TERRENO TIPO A – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi.

NTC 2008; 3.2.3 Valutazione dell'azione Sismica

$$a_g = 0,35g$$

Ai fini delle presenti norme l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti. La componente verticale verrà considerata ove espressamente specificato (v. Cap. 7).

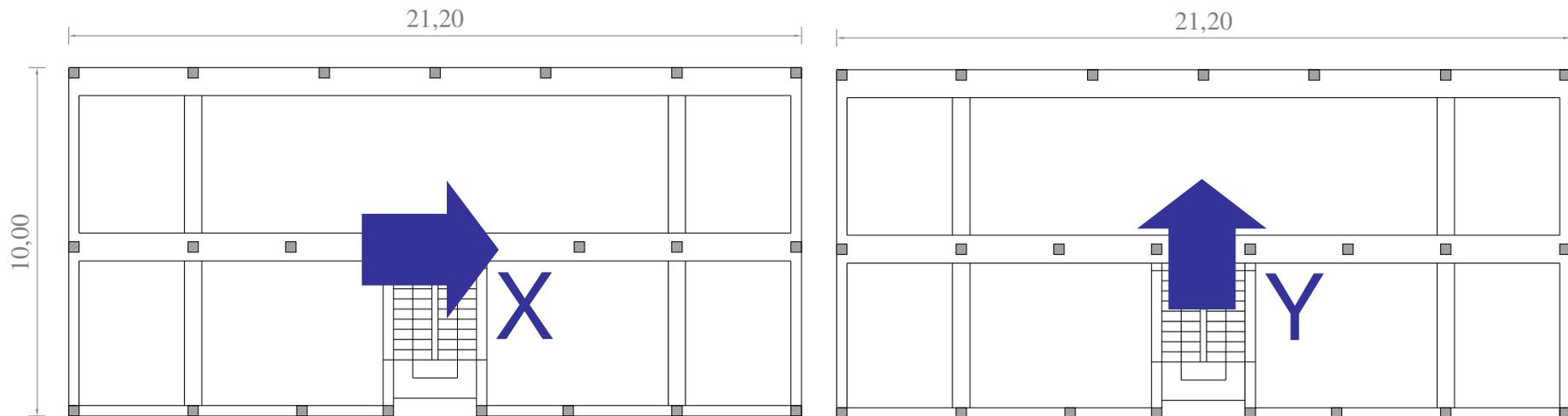
Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- **accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;**
- accelerogramma.

AZIONE SISMICA

NTC 2008; 3.2.3 Valutazione dell'azione Sismica

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta o dalle due componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.



SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO

NTC 2008; 3.2.3.2.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

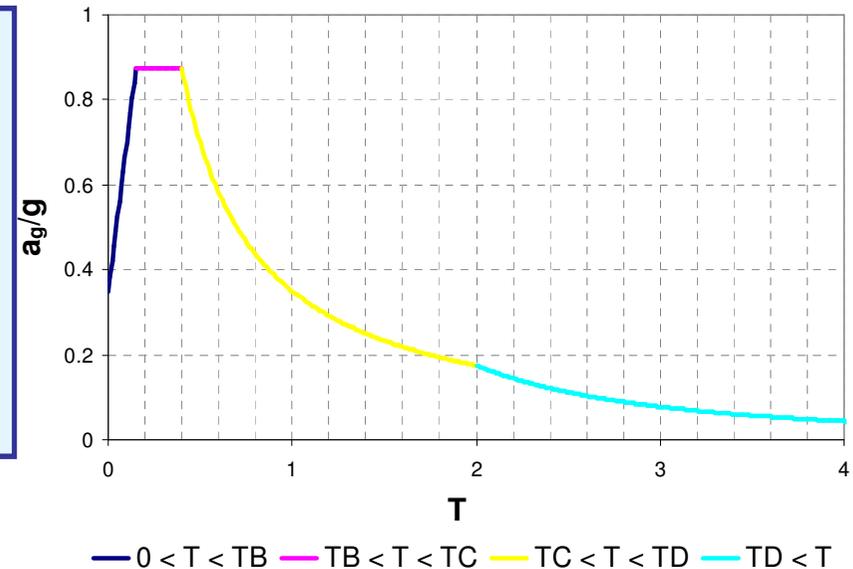
$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad 0 \leq T < T_B$$

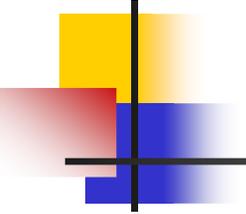
$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \quad T_B \leq T < T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \quad T_C \leq T < T_D$$

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

S	T _B	T _C	T _D
1,0	0,15	0,40	2,0





AZIONE SISMICA

STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV)

C8.7.2.4 Metodi di analisi e criteri di verifica - Analisi statica lineare con spettro elastico

AZIONE SISMICA: SPETTRO ELASTICO NON RIDOTTO

VERIFICHE : MECCANISMI DUTTILI: **DEFORMAZIONI**
 MECCANISMI FRAGILI: **FORZE**

C8.7.2.4 Metodi di analisi e criteri di verifica - Analisi dinamica modale con spettro di risposta o con fattore q

ALTERNATIVA A SPETTRO ELASTICO NON RIDOTTO

AZIONE SISMICA: MECCANISMI DUTTILI - q fra 1,5 e 3 (?????)
 MECCANISMI FRAGILI - q=1,5

VERIFICHE: **FORZE**

AZIONE SISMICA

STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV) (con spettro elastico)

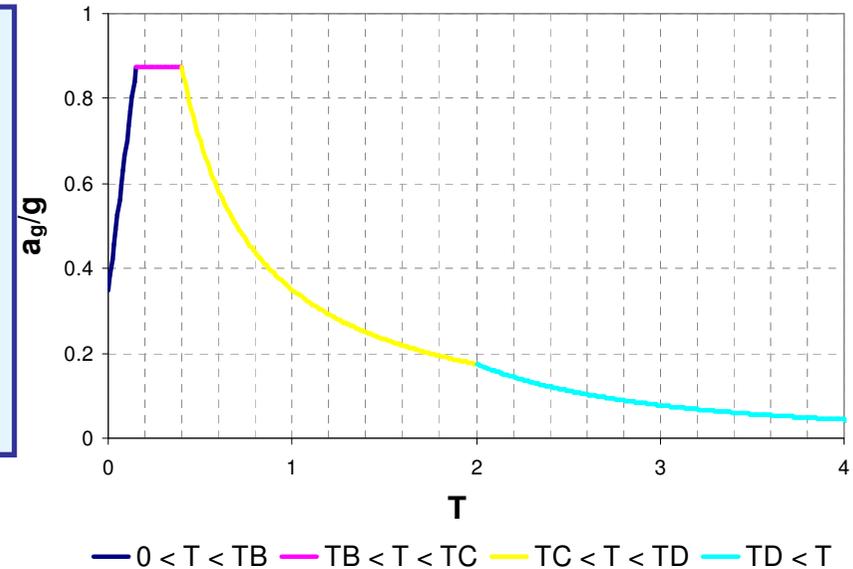
$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad 0 \leq T < T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \quad T_B \leq T < T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \quad T_C \leq T < T_D$$

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

S	T _B	T _C	T _D
1,0	0,15	0,40	2,0

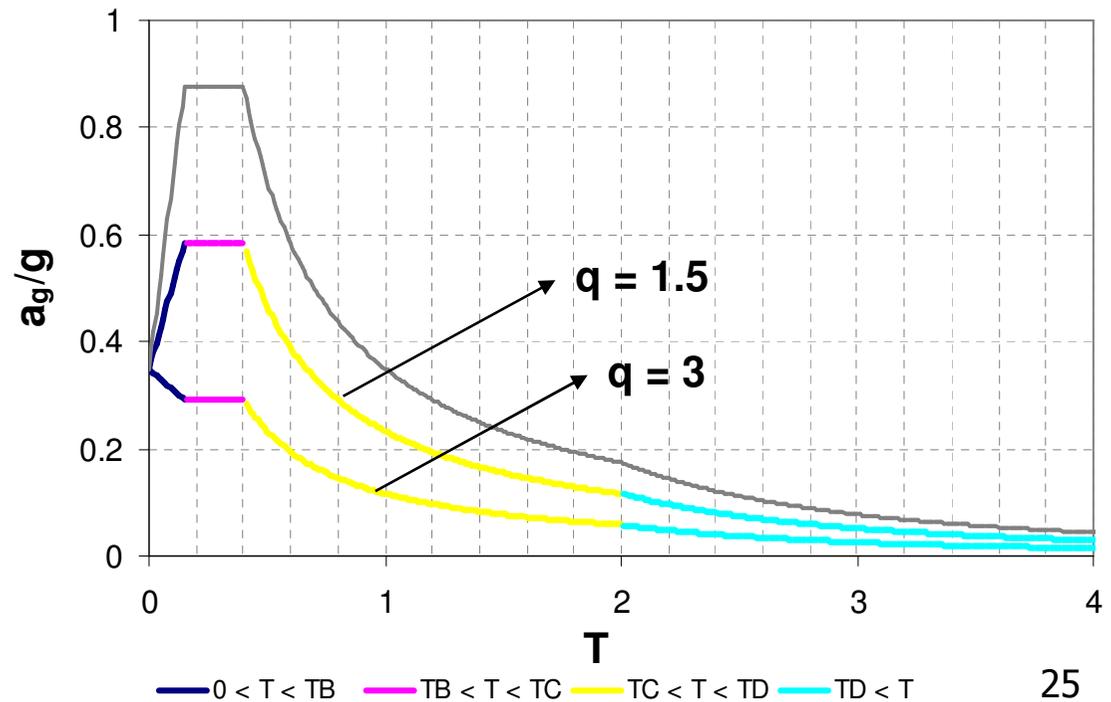


AZIONE SISMICA

STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV) (con fattore di struttura)

MECCANISMI DUTTILI $\Rightarrow 1.5 \leq q \leq 3.0$

MECCANISMI FRAGILI $\Rightarrow q = 1.5$



COMBINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA CON ALTRE AZIONI

NTC 2008; 3.2.4 Combinazione dell' azione sismica con le altre azioni

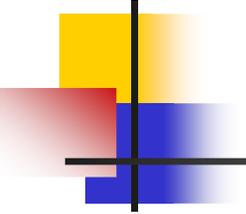
Nel caso delle costruzioni civili e industriali le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica :

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_i (\psi_{2j} Q_{Ki})$$

dove:

- E azione sismica per lo stato limite in esame;
- G_K carichi permanenti al loro valore caratteristico;
- P_K valore caratteristico dell'azione di precompressione, a cadute di tensione avvenute;
- ψ_{2j} coefficiente di combinazione che fornisce il valore quasi-permanente della azione variabile Q_j ;
- Q_{Ki} valore caratteristico della azione variabile Q_i .

Destinazione d'uso	ψ_{2j}
Categoria A: Ambienti ad uso residenziale	0.30
Categoria B: Uffici	0.30
Categoria C: Ambienti suscettibili di affollamento	0.60
Categoria D: Ambienti ad uso commerciale	0.60
Vento, variazione termica	0.00



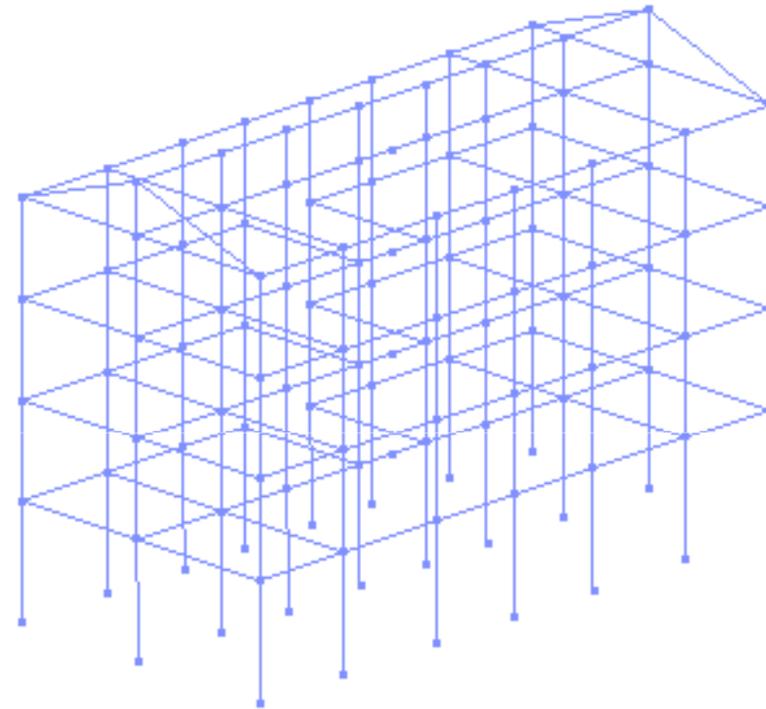
MASSA SISMICA

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{2j} Q_{Kj}$$

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

MASSA SISMICA

	<i>Masse</i>
	$M = W/g$ (t)
Piano 1	164
Piano 2	175
Piano 3	175
Piano 4	107
Copertura	69



$$M_{\text{tot}} = 692 \text{ t}$$

N.B. non e' stato
incluso il carico neve

Le masse di piano vengono ripartite ai nodi
(diaframma infinitamente rigido)

REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA

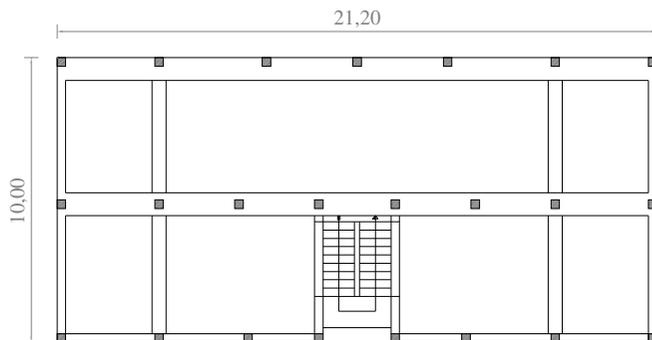
NTC 2008; 7.2.2 Caratteristiche generali delle costruzioni - Regolarità

Per quanto riguarda gli edifici, una costruzione è regolare in pianta se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

a) la configurazione in pianta è compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidezze;



b) il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui l'edificio risulta inscritto è inferiore a 4;



$$\frac{L}{H} = \frac{21,20}{10,00} = 2,12 < 4$$

REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA

... regolare in pianta

c) nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25 % della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione;



d) gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti.



In prima approssimazione considereremo la presenza di solai infinitamente rigidi per provare il modello con diaframmi rigidi di piano

REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA

NTC 2008; 7.2.2 Caratteristiche generali delle costruzioni - Regolarità

Un edificio è regolare in altezza se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

e) tutti i sistemi resistenti verticali (quali telai e pareti) si estendono per tutta l'altezza della costruzione;



f) massa e rigidezza rimangono costanti o si riducono gradualmente dalla base alla cima dell'edificio (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25 %, la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%);



	<i>Masse traslazionali</i>	<i>Variazione % massa</i>
	$M_{tasl} = m/g \text{ (t)}$	%
Piano 1	164	0
Piano 2	175	+ 6%
Piano 3	175	0
Piano 4 + Copertura	176	0

REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA

... regolare in altezza

g) nelle strutture intelaiate progettate in CD “B” il rapporto tra resistenza effettiva e resistenza richiesta dal calcolo non è significativamente diverso per orizzontamenti diversi (il rapporto fra la resistenza effettiva e quella richiesta, calcolata ad un generico orizzontamento, non deve differire più del 20% dall’analogo rapporto determinato per un altro orizzontamento); può fare eccezione l’ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti;

E' necessario effettuare una prima analisi



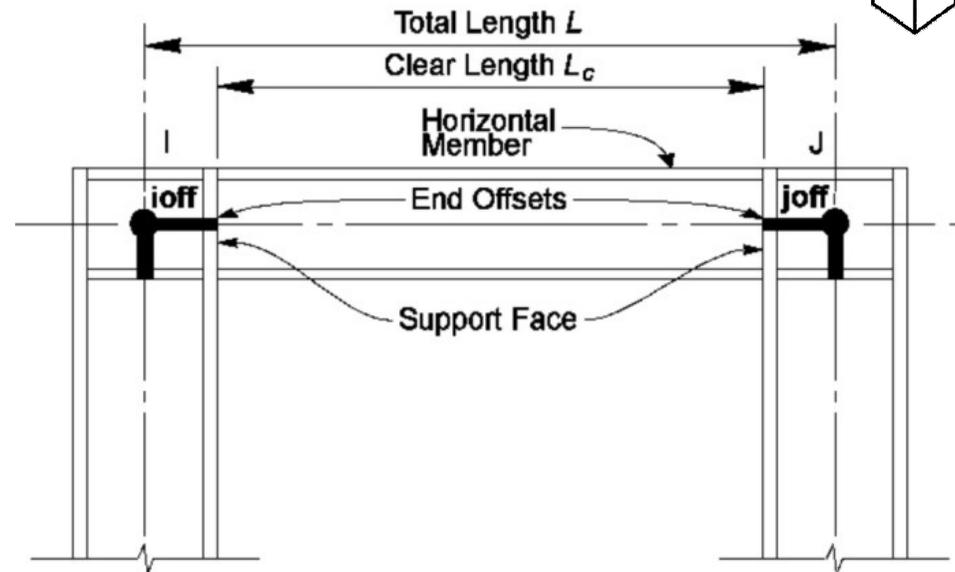
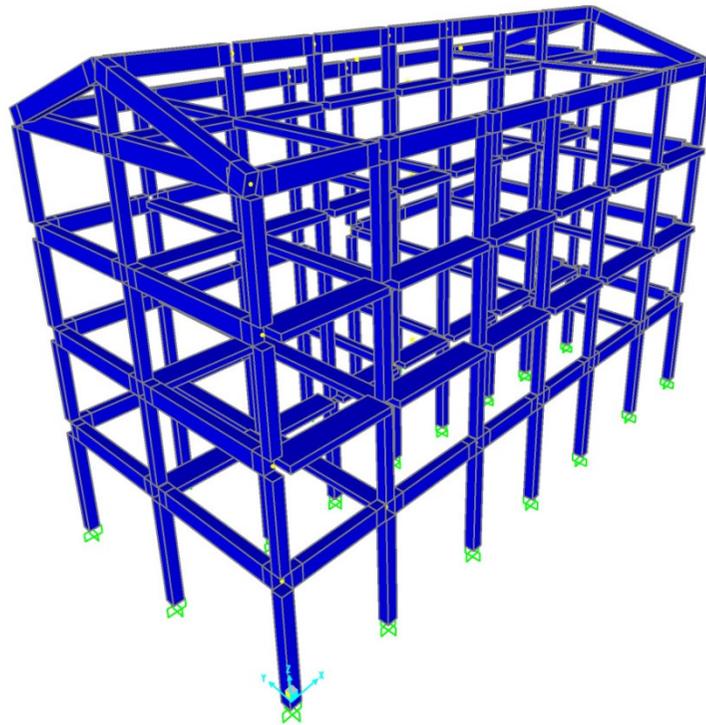
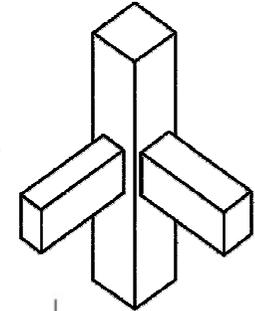
h) eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengono in modo graduale da un orizzontamento al successivo, rispettando i seguenti limiti: ad ogni orizzontamento il rientro non supera il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento, né il 20% della dimensione corrispondente all’ orizzontamento immediatamente sottostante. Fa eccezione l’ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro piani per il quale non sono previste limitazioni di restringimento.



MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

- Bracci rigidi

La lunghezza della zona rigida è calcolata in base alla profondità ed alla lunghezza della sezione



- Diaframmi rigidi di piano

Si ipotizza la presenza di solai rigidi la cui modellazione avverrà mediante diaframmi di piano infinitamente rigidi

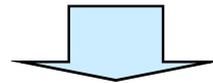
- Elementi non strutturali trascurati

Sono stati tuttavia considerati come carichi

MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

NTC 2008; 7.2.6 Criteri di Modellazione della Struttura e Azione Sismica

In caso non siano effettuate analisi specifiche, la rigidità flessionale e a taglio di elementi in muratura, cemento armato, acciaio-calcestruzzo, può essere ridotta sino al 50% della rigidità dei corrispondenti elementi non fessurati, tenendo debitamente conto dell'influenza della sollecitazione assiale permanente.



Essendo la rigidità flessionale funzione del prodotto tra momento di inerzia di ciascuna sezione e modulo elastico, per variare la rigidità, è possibile far variare il **modulo elastico del materiale**, in quanto esso è costante per ciascuna sezione. In particolare si è assunto che:

$$E_{\text{fessurato-medio}} = 50\% E_{\text{non fessurato}}$$

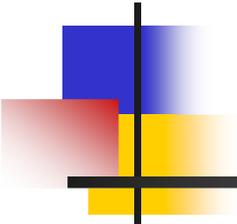
$$\begin{aligned} E_{\text{non fessurato}} &= 22.662 \text{ MPa} \\ E_{\text{fessurato}} &= 11.331 \text{ MPa} \end{aligned}$$

EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

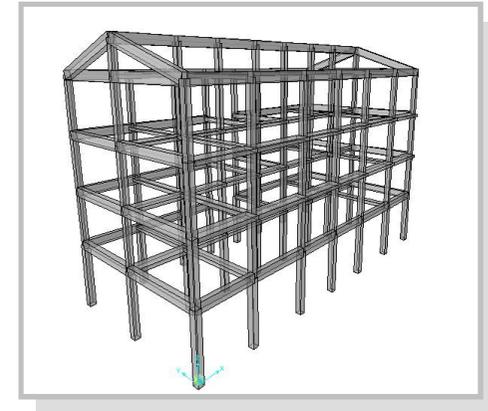
- VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA (Criteri generali)
- LA GEOMETRIA DELL'EDIFICIO ED I MATERIALI UTILIZZATI
- DEFINIZIONE DELLE AZIONI AGENTI SULLA STRUTTURA E DEL MODELLO GEOMETRICO
- **ANALISI DELLA STRUTTURA SECONDO LE NTC 2008 (e Circolare 617/2009)**
 - Analisi Lineari
 - Analisi Non Lineari
- EDIFICI DI INTERESSE STRATEGICO



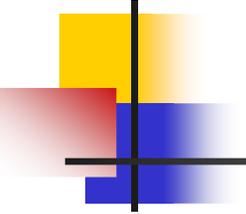
*Terremoto Molise 2002,
Bonefro: gravi danni al
c.a.*



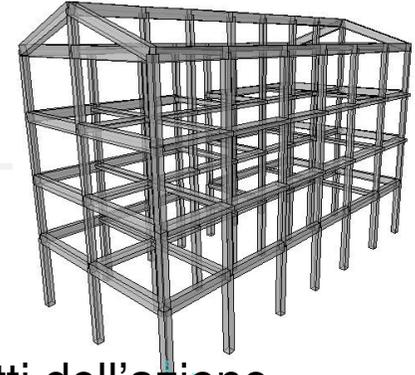
Analisi della struttura secondo le NTC 2008



- **Metodi di Analisi**
 - **Analisi lineari**
 - Analisi statica lineare
 - Analisi dinamica lineare (modale)
 - **Analisi non lineari**
 - Analisi statica non lineare
 - Analisi dinamica non lineare



METODI DI ANALISI



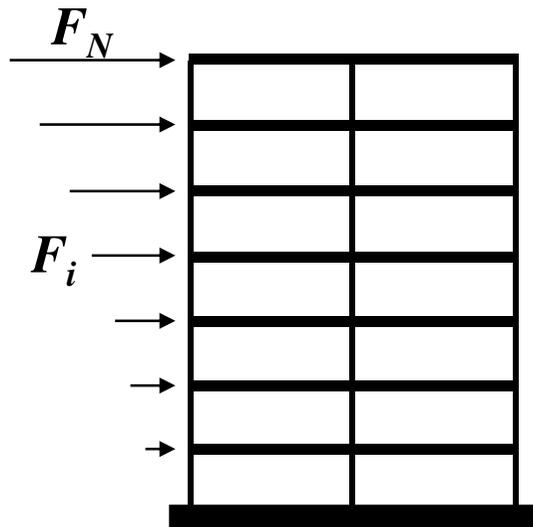
NTC 2008; 7.3.2 Analisi Statica o Dinamica

Il metodo d'analisi lineare di riferimento per determinare gli effetti dell'azione sismica, sia su sistemi dissipativi sia su sistemi non dissipativi, è l'analisi modale con spettro di risposta o “analisi lineare dinamica”.

Per le sole costruzioni la cui risposta sismica, in ogni direzione principale, non dipenda significativamente dai modi di vibrare superiori, è possibile utilizzare, sia su sistemi dissipativi sia su sistemi non dissipativi, il metodo delle forze laterali o “analisi lineare statica”.

ANALISI STATICA

NTC 2008; 7.3.3.2 Analisi Lineare Statica



Edificio “Shear frame”
a N piani

$$F_i = F_h \frac{z_i W_i}{\sum z_j W_j}$$

$$F_h = S_d(T_1) W \lambda$$

F_i è la forza da applicare al piano i

W_i e W_j sono i pesi delle masse ai piani i e j rispettivamente

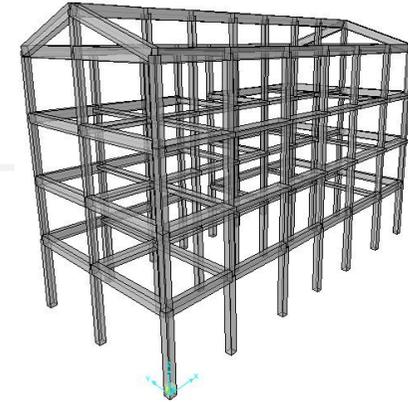
z_i e z_j sono le altezze dei piani i e j rispetto alle fondazioni

$S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto

W è il peso complessivo della costruzione, calcolato secondo quanto indicato per ogni tipo strutturale

λ è un coefficiente pari a 0,85 se l'edificio ha almeno tre piani e se $T_1 < 2 T_c$,
pari a 1,0 in tutti gli altri casi

ANALISI STATICA

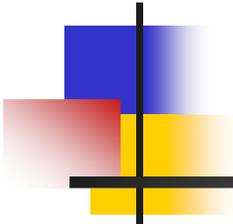


NTC 2008; 7.3.3.2 Analisi Lineare Statica

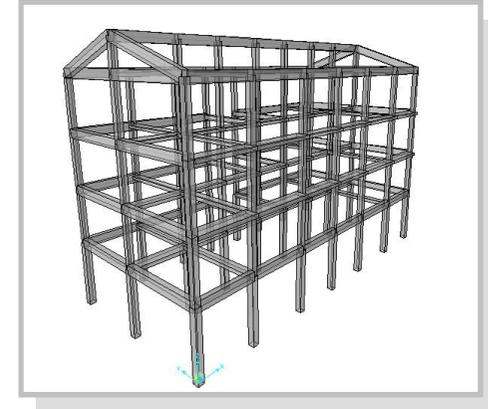
L'analisi statica lineare consiste nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica e può essere effettuata per costruzioni che rispettino i requisiti specifici riportati nei paragrafi successivi, a condizione che il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame (T_1) non superi $2,5 T_C$ o T_D e che la costruzione sia **regolare in altezza**.

$$T_1 = C_1 H^{3/4}$$

dove H è l'altezza dell'edificio, in metri, dal piano di fondazione e C_1 vale 0.085 per edifici con struttura a telaio in acciaio, 0.075 per edifici con struttura a telaio in calcestruzzo e 0.050 per edifici con qualsiasi altro tipo di struttura.



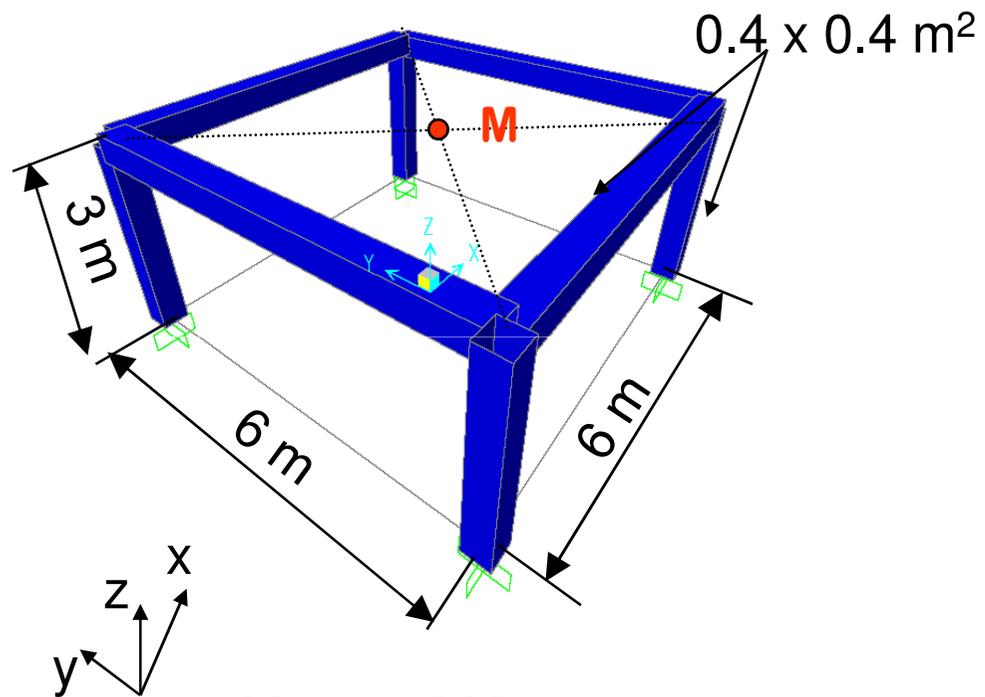
Analisi della struttura secondo le NTC 2008



- **Analisi dinamica modale**
 - Analisi modale
 - Modalità di applicazione dell'analisi
 - Applicabilità dell'analisi dinamica modale con spettro elastico
 - Analisi dinamica modale con fattore di struttura
 - Verifiche di sicurezza con fattore di struttura

ANALISI MODALE

EDIFICIO REGOLARE QUADRATO
6 m x 6 m

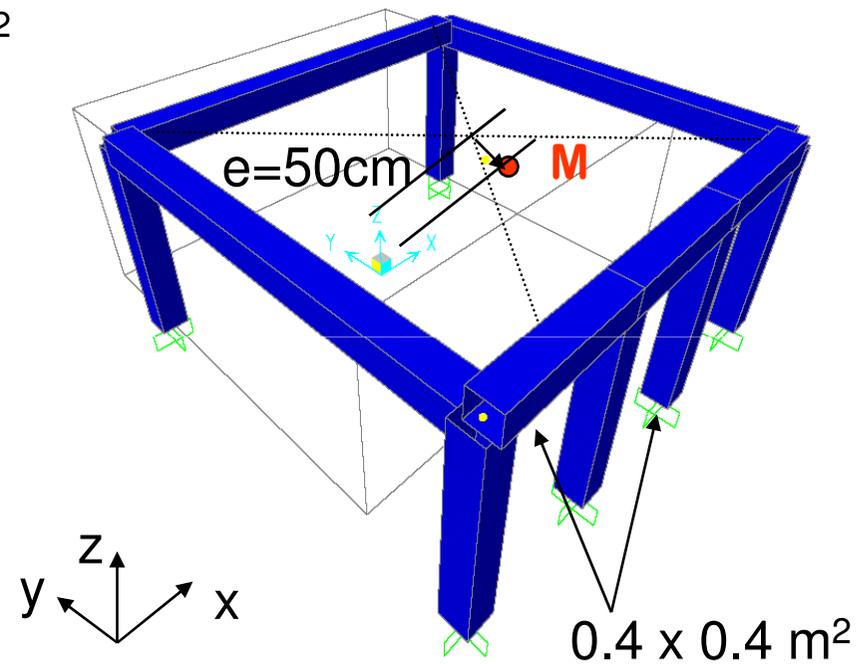


$$M_x = 370 \text{ kN}$$

$$M_y = 370 \text{ kN}$$

$$M_z = 2200 \text{ kNm}^2$$

EDIFICIO IRREGOLARE QUADRATO
6 m x 6 m



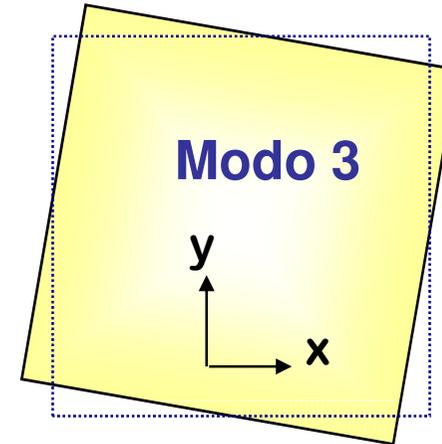
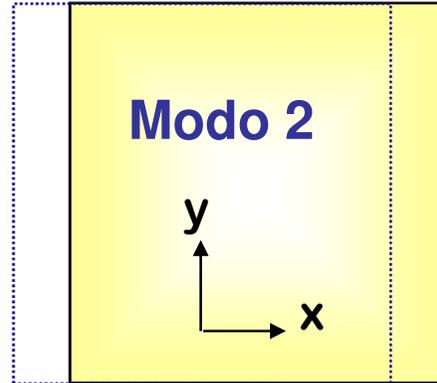
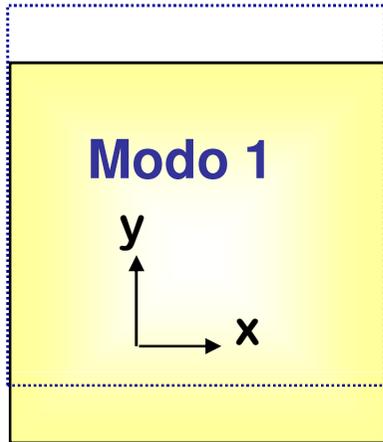
$$M_x = 370 \text{ kN}$$

$$M_y = 370 \text{ kN}$$

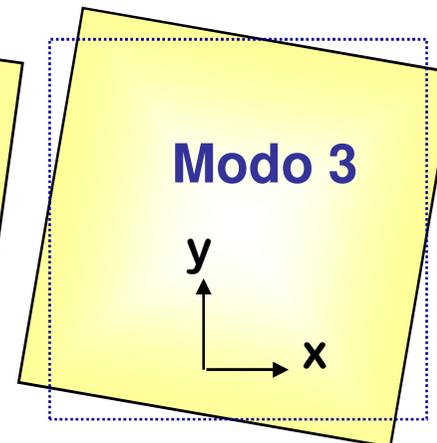
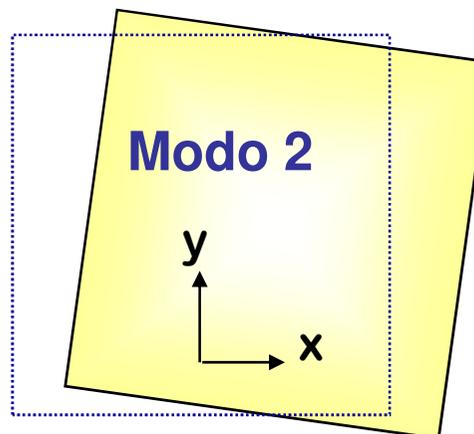
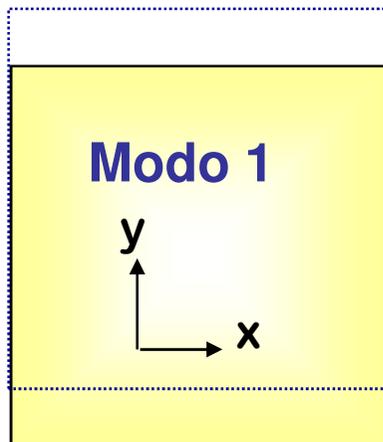
$$M_z = 2200 \text{ kNm}^2$$

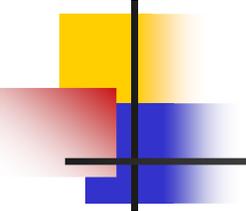
ANALISI MODALE

EDIFICIO REGOLARE QUADRATO 6m x 6m



EDIFICIO IRREGOLARE QUADRATO 6m x 6m





ANALISI MODALE

Periodi e masse partecipanti del telaio spaziale

EDIFICIO REGOLARE QUADRATO 6m x 6m

Modo	T	U_x	U_y	R_z	ΣU_x	ΣU_y	ΣR_z
	sec	%	%	%	%	%	%
1	0,53	0,02	99,98	0,00	0,02	99,98	0,00
2	0,53	99,98	0,02	0,00	100,00	100,00	0,00
3	0,28	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00

EDIFICIO IRREGOLARE QUADRATO 6m x 6m

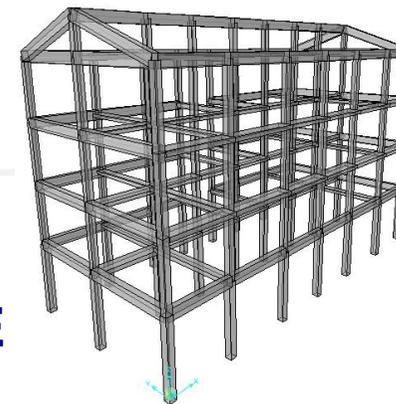
Modo	T	U_x	U_y	R_z	ΣU_x	ΣU_y	ΣR_z
	sec	%	%	%	%	%	%
1	0,47	0,000	100,00	0,000	0,000	100,00	0,000
2	0,41	94,280	0,000	5,720	94,280	100,00	5,720
3	0,25	5,720	0,000	94,280	100,00	100,00	100,00

OPCM 3274. Punto 4.5.3 Analisi dinamica modale.

in generale vanno considerati tutti i modi con massa partecipante **superiore al 5%**, oppure un numero di modi la cui massa partecipante totale sia **superiore all'85%**

ANALISI MODALE

EDIFICIO DI BONEFRO: SOLAIO “RIGIDO” SENZA TAMPONEMENTI E SCALE

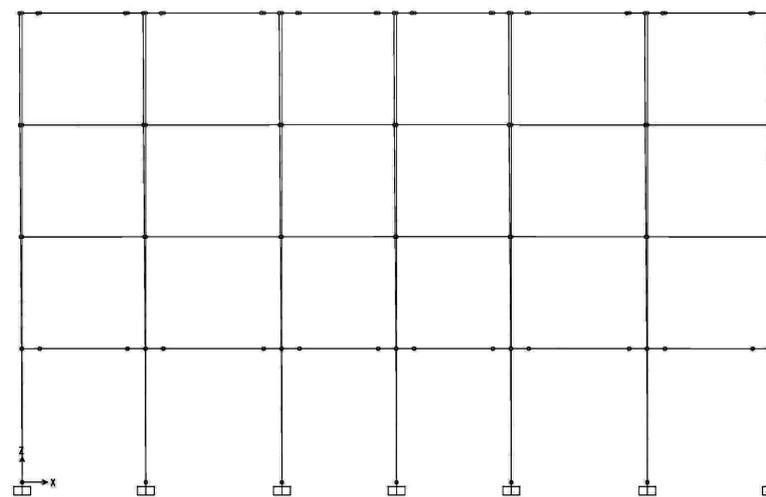
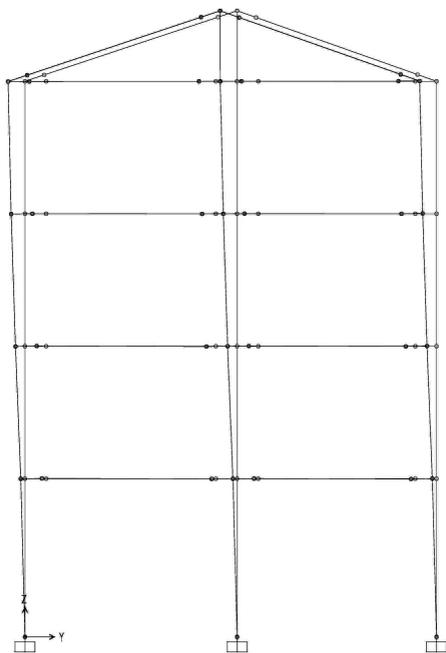
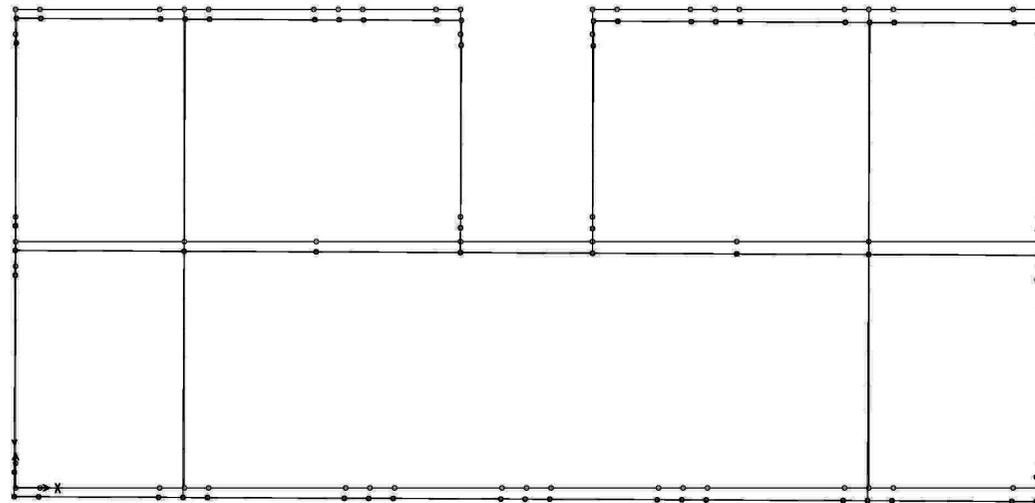
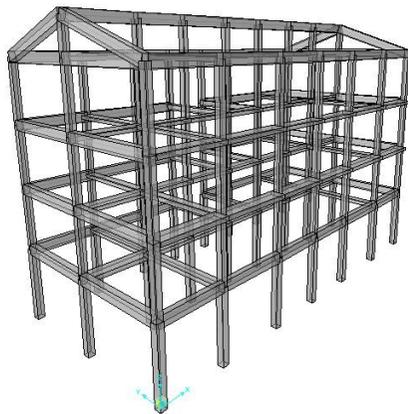


Step Num	Period (sec)	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	1.50	0.00055	0.82026	0.00055	0.82026	0.56856	0.56856
2	1.09	0.12757	0.02471	0.12812	0.84497	0.04866	0.61723
3	0.97	0.74170	0.00153	0.86982	0.84650	0.24226	0.85948
4	0.47	0.00015	0.09945	0.86997	0.94596	0.06607	0.92555
5	0.35	0.02677	0.00115	0.89674	0.94711	0.00479	0.93034
6	0.32	0.07263	0.00010	0.96937	0.94721	0.02559	0.95593
7	0.25	0.00001	0.03427	0.96938	0.98148	0.02092	0.97685
8	0.20	0.00653	0.00003	0.97591	0.98151	0.00209	0.97895
9	0.19	0.01763	0.00000	0.99354	0.98151	0.00766	0.98660
10	0.18	0.00001	0.01007	0.99355	0.99158	0.00491	0.99151
11	0.15	0.00052	0.00070	0.99407	0.99227	0.00288	0.99439
12	0.15	0.00003	0.00758	0.99410	0.99985	0.00373	0.99812

LE TAMPONATURE NON SONO STATE MODELLATE, MA SONO STATE INSERITE SIA NELLA DETERMINAZIONE DEI CARICHI, SIA IN QUELLA DELLE MASSE

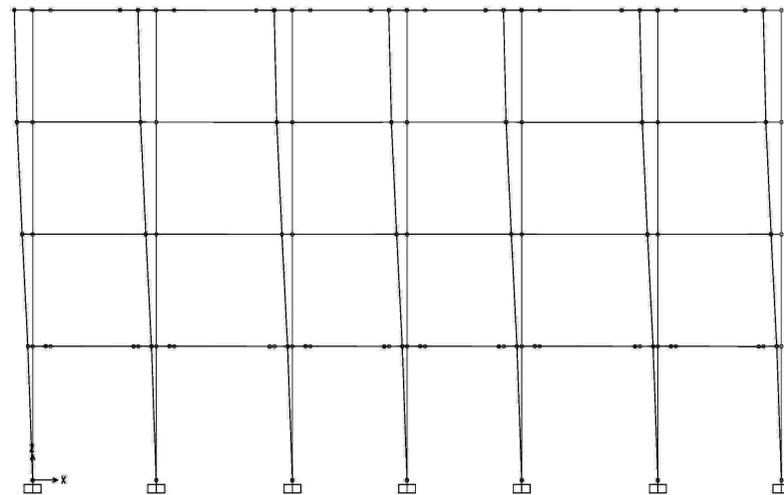
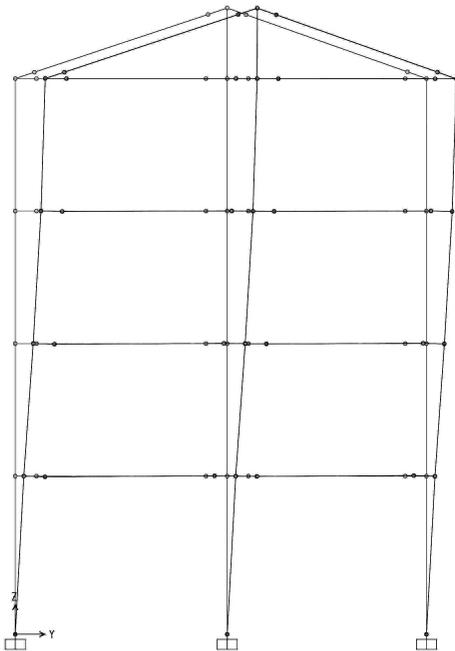
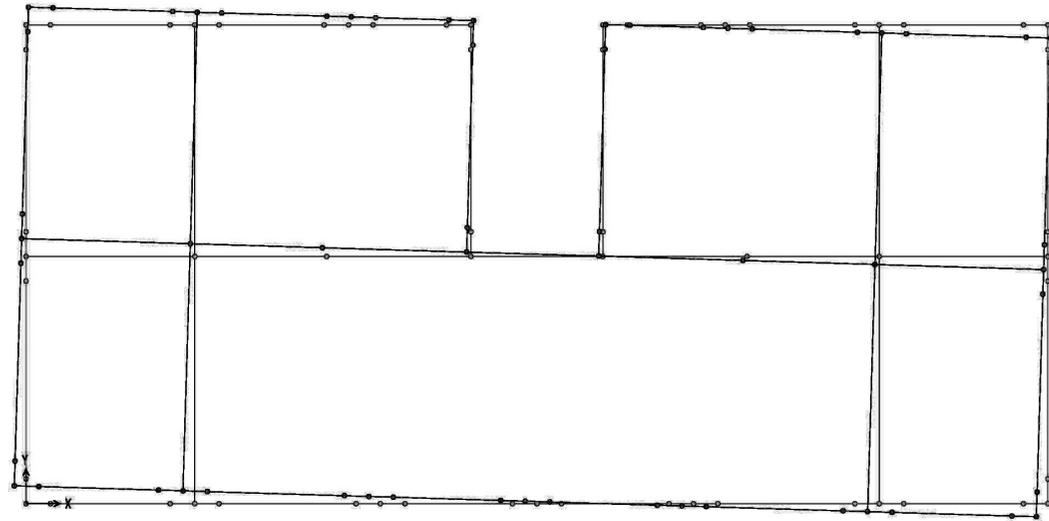
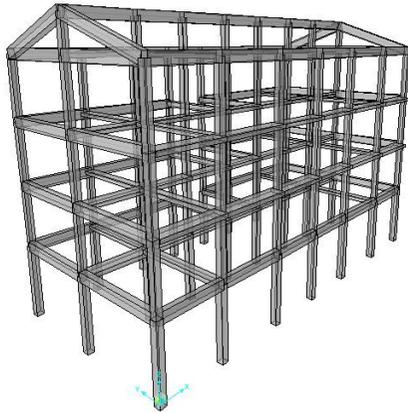
ANALISI MODALE

Modo	T (sec)	UX	UY	RZ
1	1.50	0.00055	0.82026	0.56856



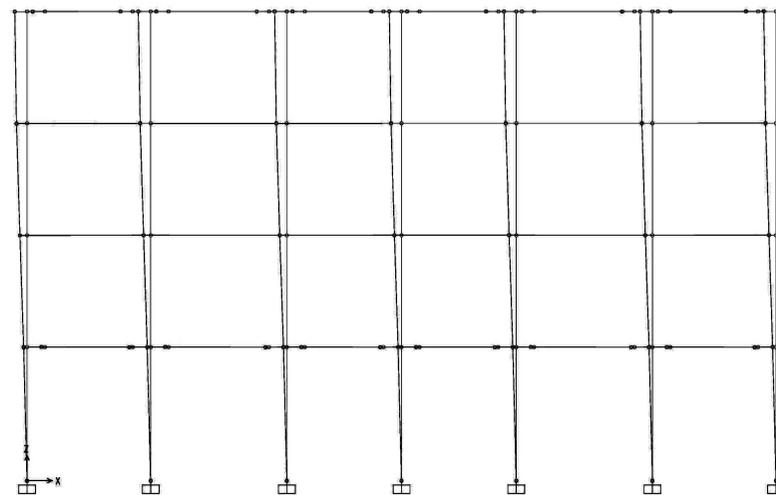
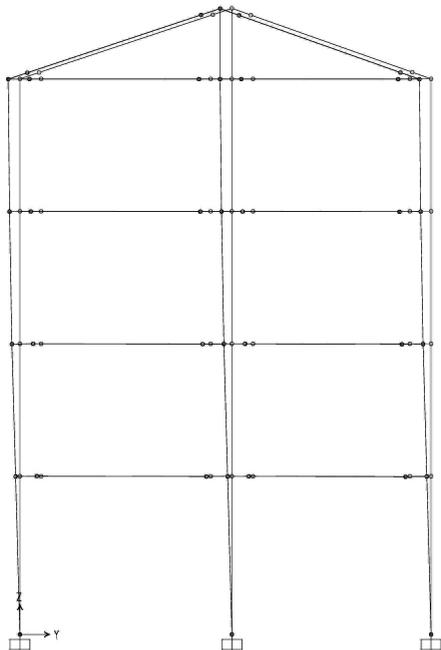
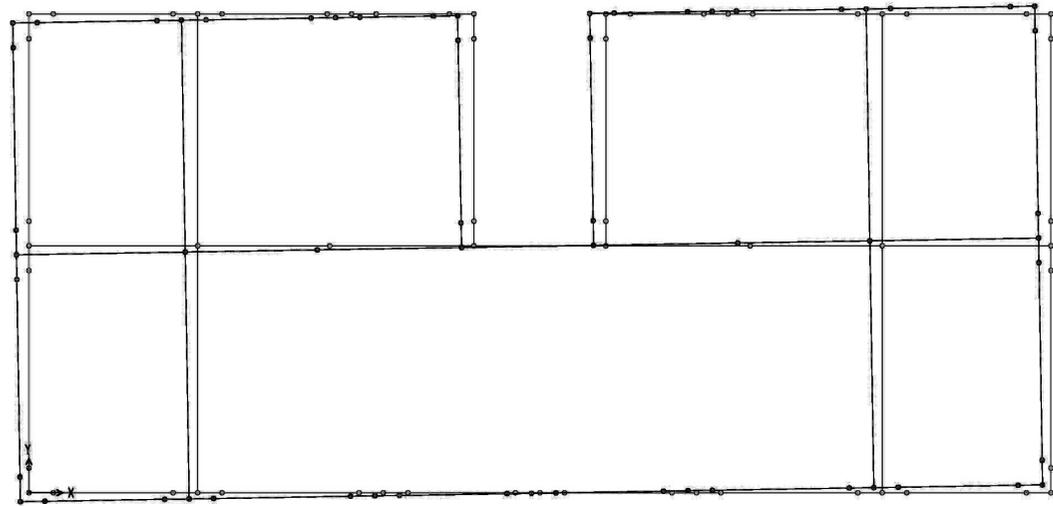
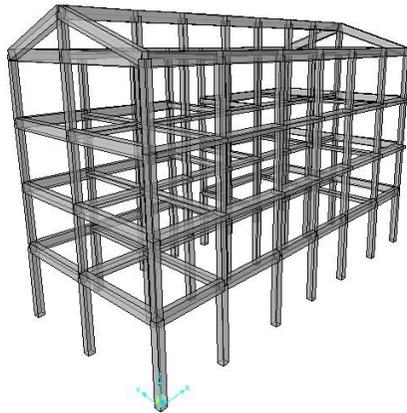
ANALISI MODALE

Modo	T (sec)	UX	UY	RZ
2	1.09	0.12757	0.02471	0.04866



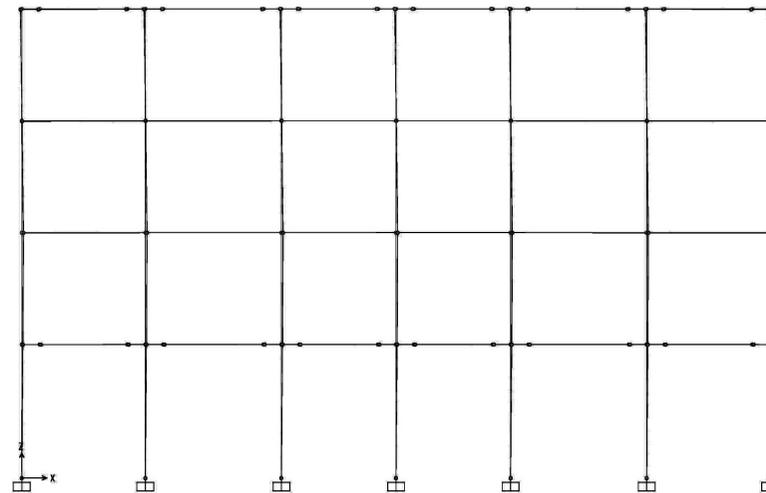
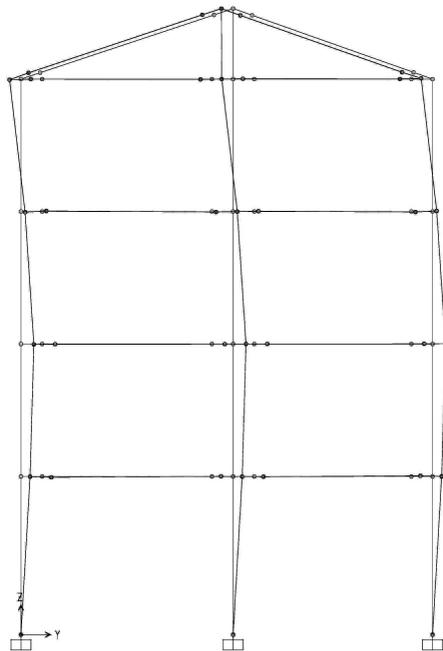
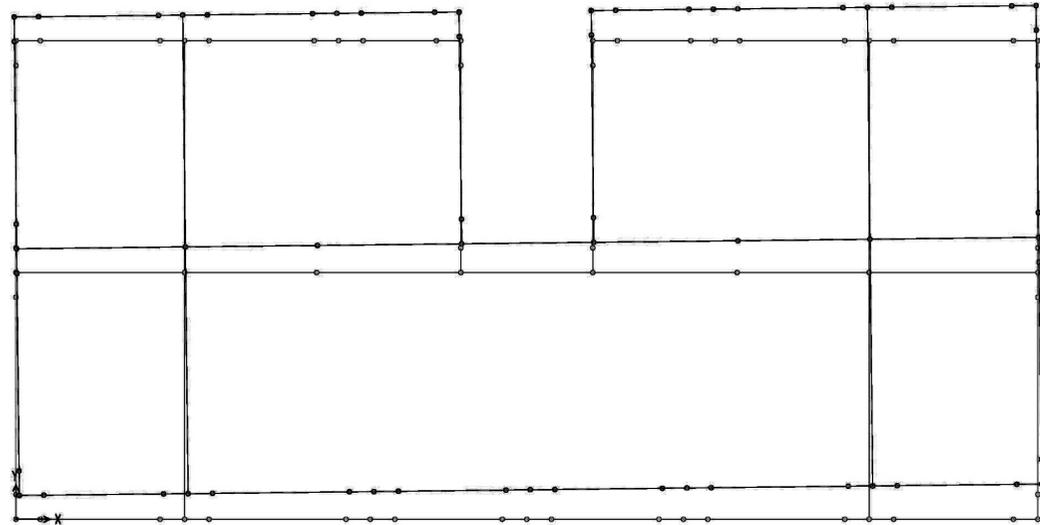
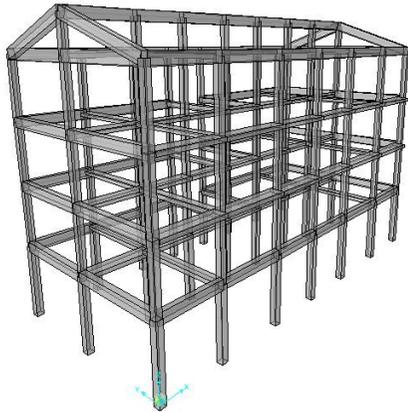
ANALISI MODALE

Modo	T (sec)	UX	UY	RZ
3	0.97	0.74170	0.00153	0.24226



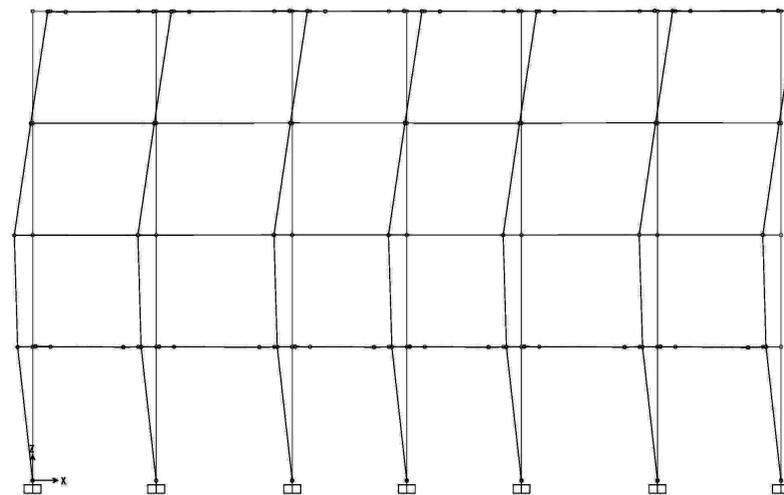
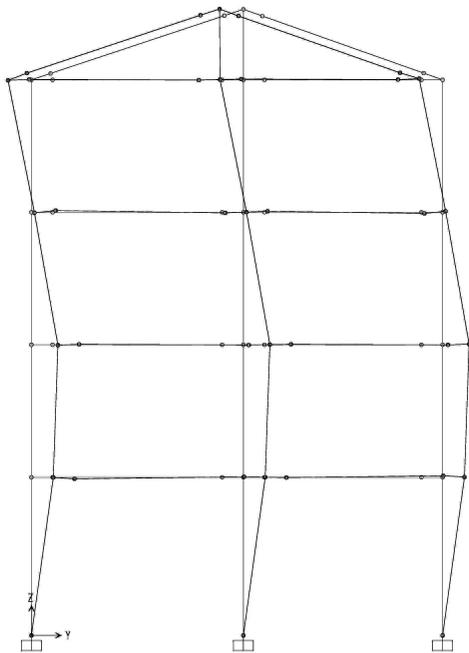
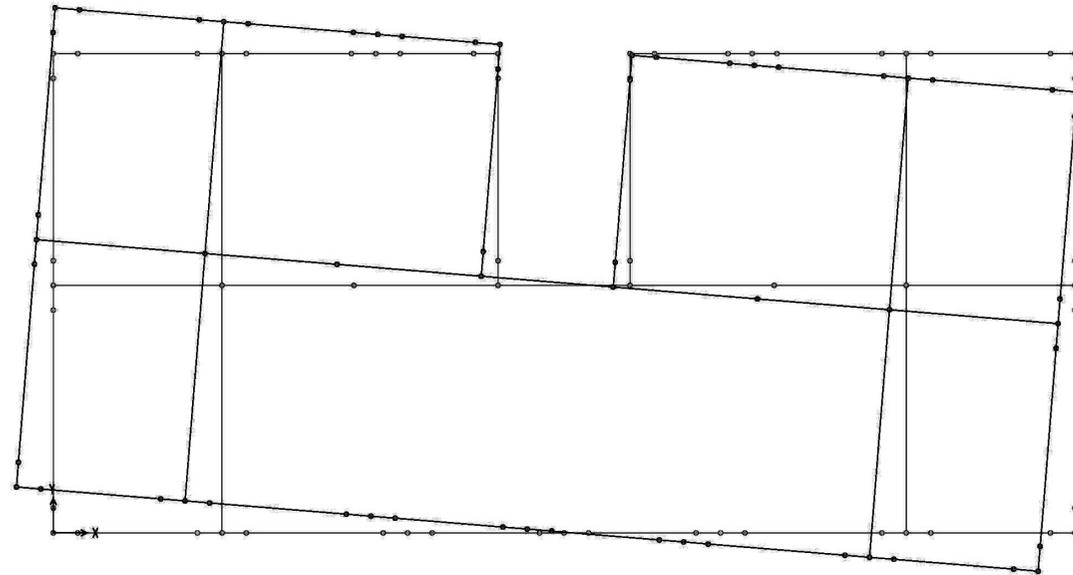
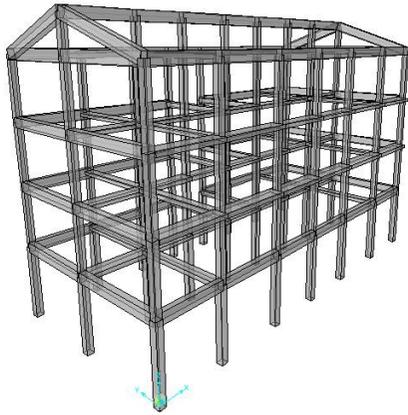
ANALISI MODALE

Modo	T (sec)	UX	UY	RZ
4	0.47	0.00015	0.09945	0.06607



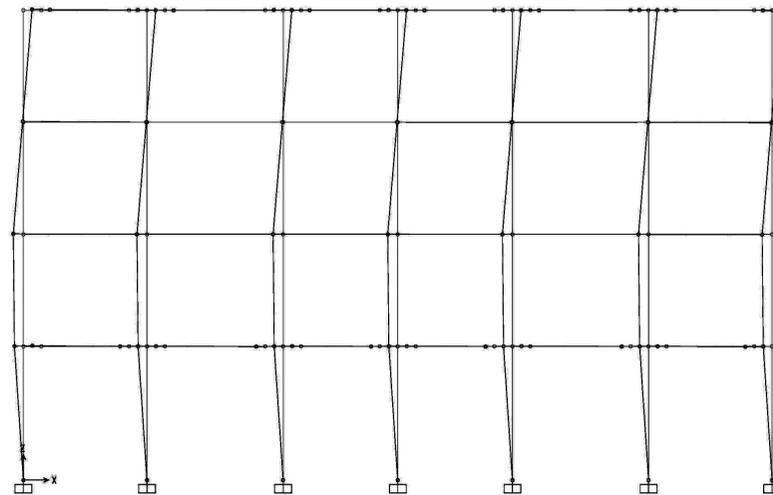
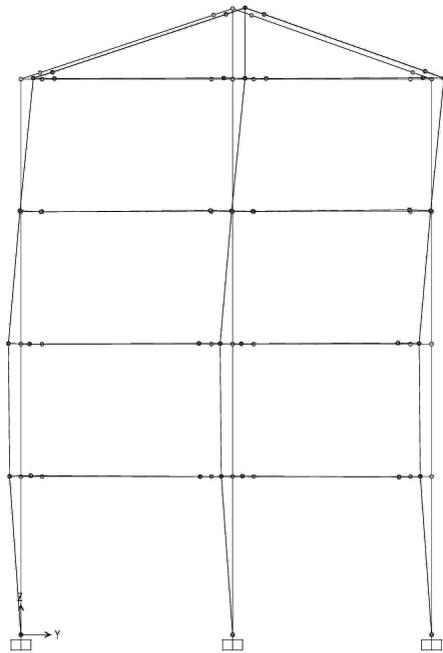
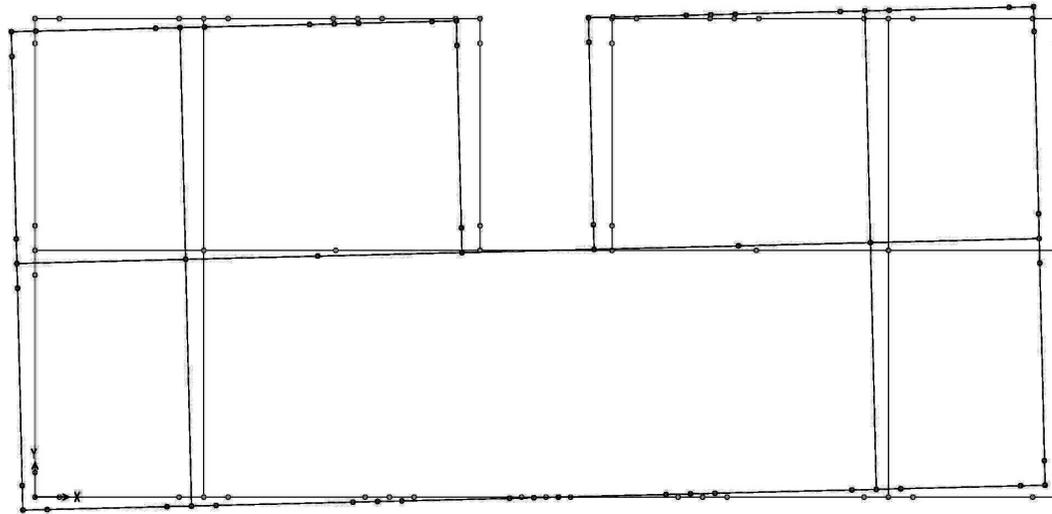
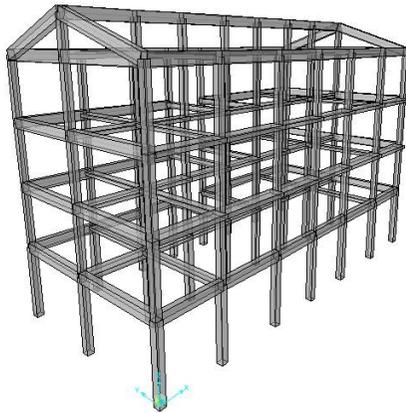
ANALISI MODALE

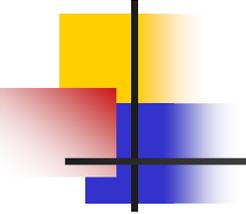
Modo	T (sec)	UX	UY	RZ
5	0.35	0.02677	0.00115	0.00479



ANALISI MODALE

Modo	T (sec)	UX	UY	RZ
6	0.32	0.07263	0.00010	0.02559





ANALISI DINAMICA MODALE

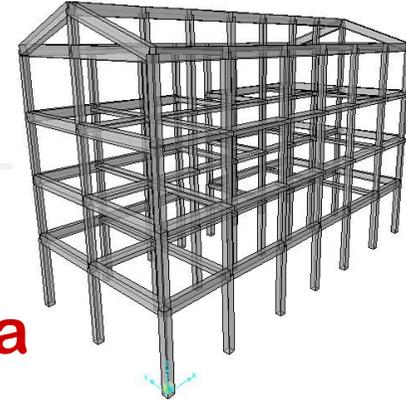
NTC 2008; 7.3.3.1 Analisi Lineare Dinamica

L'analisi dinamica lineare consiste:

- nella determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale),
- nel calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati,
- nella combinazione di questi effetti.

Devono essere considerati tutti i modi con massa partecipante significativa. È opportuno a tal riguardo considerare **tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e comunque un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%.**

COMBINAZIONI MODALI



NTC 2008; 7.3.3.1 Analisi Lineare Dinamica

Per la combinazione degli effetti relativi ai singoli modi deve essere utilizzata una combinazione quadratica completa degli effetti relativi a ciascun modo:

$$E = \sqrt{\sum_i \sum_j \rho_{ij} E_i E_j}$$

dove:

E è il valore totale della componente di risposta sismica che si sta considerando

E_i è il valore della medesima componente dovuta al modo i

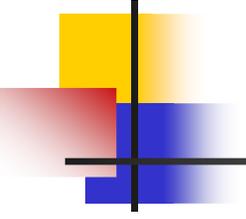
E_j è il valore della medesima componente dovuta al modo j

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2 (1 + \beta_{ij}) \beta_{ij}^{3/2}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4\xi^2 \beta_{ij} (1 + \beta_{ij})^2}$$

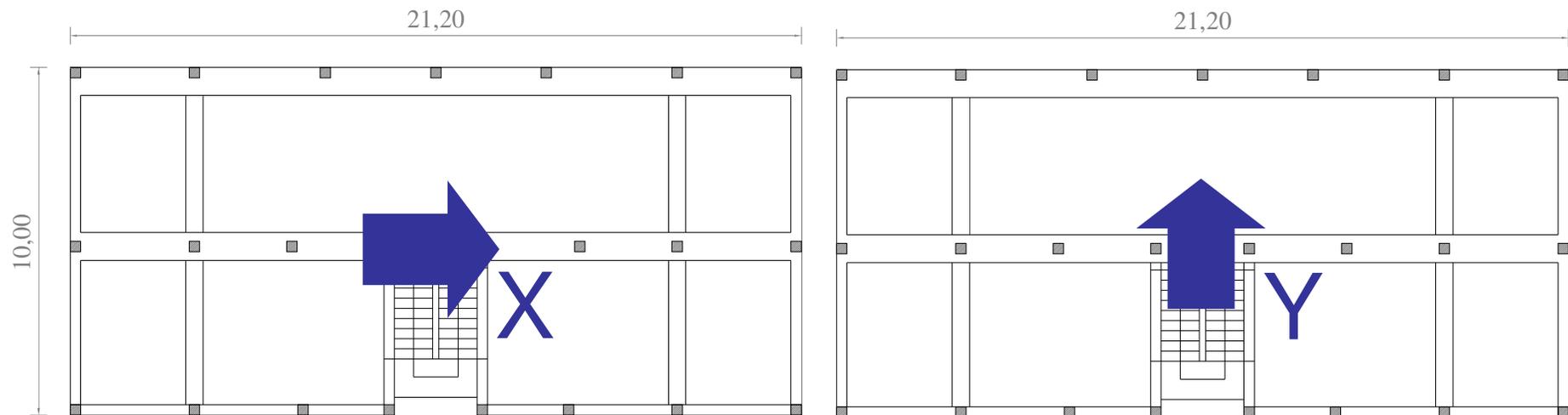
è il coefficiente di correlazione tra il modo i e il modo j

ξ è il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente

$$\beta_{ij} = \omega_i / \omega_j.$$

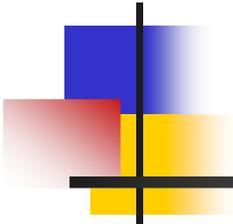


COMBINAZIONE DELLE COMPONENTI DELL'AZIONE SISMICA

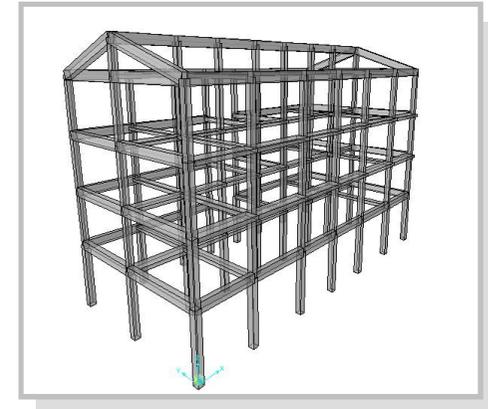


COMBINAZIONE DELLE COMPONENTI DELL'AZIONE SISMICA

NTC 2008	<p>“Gli effetti sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, ecc.) sono combinati, applicando la seguente espressione</p>	➔	<p style="text-align: center;">100/30 method</p> $E = \pm \max \left(\begin{array}{l} E_X + 0,3 E_Y ; \\ E_Y + 0,3 E_X \end{array} \right)$
EUROCODICE 8	<p>“... il valore massimo di ogni effetto sulla struttura dovuto alle due componenti orizzontali dell'azione sismica può essere stimato mediante <u>la radice quadrata della sommatoria dei quadrati delle risposte ad ognuna delle componenti orizzontali</u>”.</p>	➔	<p style="text-align: center;">SRSS method</p> $E = \pm \sqrt{E_X^2 + E_Y^2}$
EUROCODICE 8	<p>“... gli effetti sulla struttura dovuti alla combinazione delle componenti orizzontali dell'azione sismica possono essere valutati mediante le seguenti combinazioni:</p> <p>a) $E_{Edx} + 0,3 E_{Edy}$ b) $0,3 E_{Edx} + E_{Edy}$</p> <p>Il segno di ogni componente nella formula di combinazione deve essere preso come il più sfavorevole per l'effetto che si sta considerando”.</p>	➔	<p style="text-align: center;">100/30 method</p> $E = \pm \max \left(\begin{array}{l} E_X + 0,3 E_Y ; \\ E_Y + 0,3 E_X \end{array} \right)$



Analisi della struttura secondo le NTC 2008



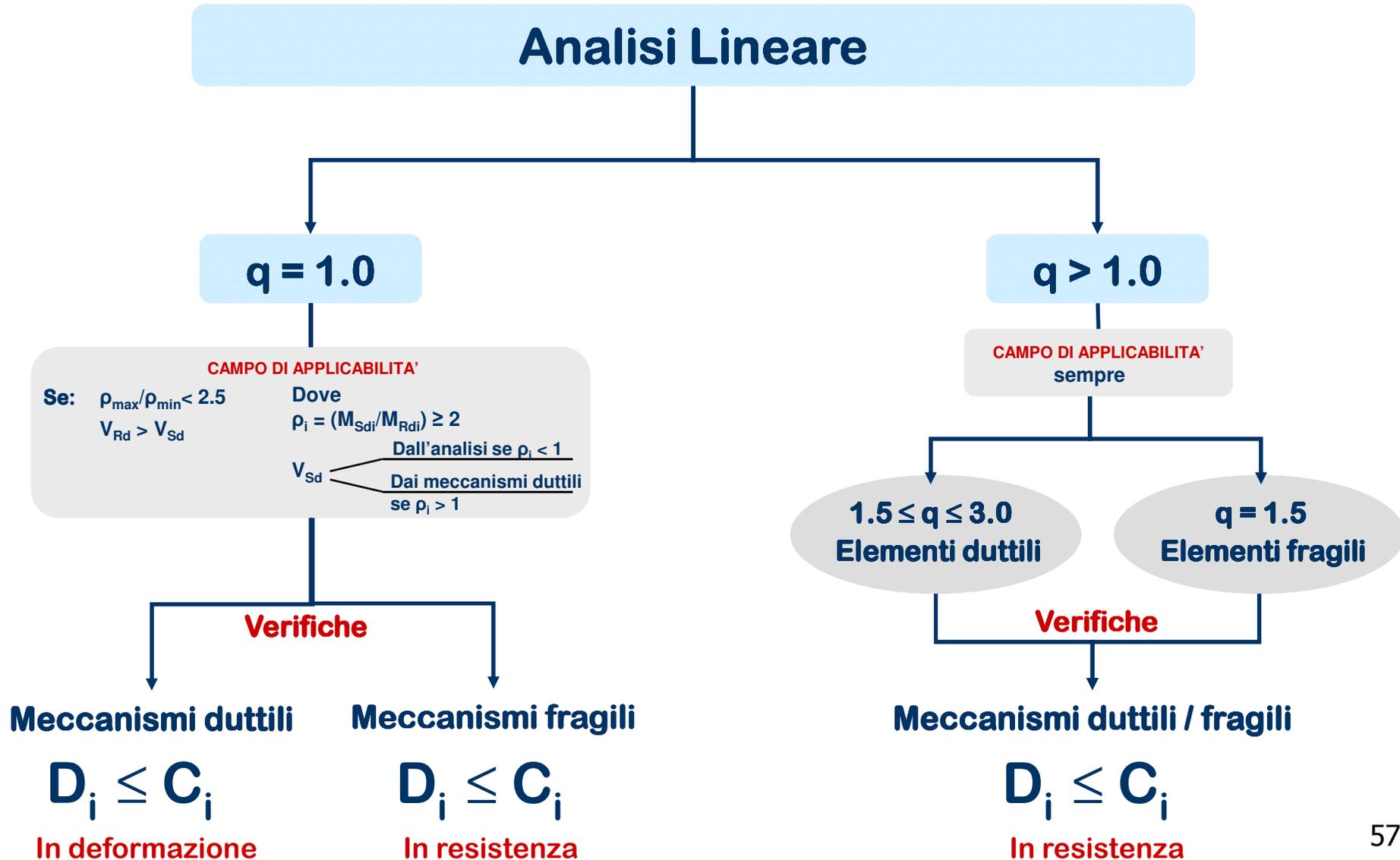
- **Analisi dinamica modale**
 - **Analisi modale**
 - **Modalità di applicazione dell'analisi**
 - **Applicabilità dell'analisi dinamica modale con spettro elastico**
 - **Analisi dinamica modale con fattore di struttura**
 - **Verifiche di sicurezza con fattore di struttura**

MODALITA' DI APPLICAZIONE DELL'ANALISI

		Modello Lineare		Modello Non Lineare	
		Domanda	Capacità	Domanda	Capacità
Tipo di elemento o meccanismo (e/m)	Duttile / Fragile	Accettazione del Modello Lineare (ML) (per il controllo dei valori di $\rho_i = D_i/C_i$)		Dall'analisi. Usare i valori medi nel modello.	In termini di deformazione. Usare i valori medi <u>divisi</u> per il FC.
		Dall'analisi. Usare i valori medi dei moduli nel modello.	In termini di resistenza. Usare i valori medi.		
	Duttile	Verifiche (se il ML è accettato)			
		Dall'analisi.	In termini di deformazione. Usare i valori medi <u>divisi</u> per il FC.		
		Verifiche (se il ML è accettato)			
		Se $\rho_i \leq 1$, dall'analisi.	In termini di resistenza. Usare i valori medi <u>divisi</u> per il FC e per il coefficiente parziale.		
Se $\rho_i > 1$, dall'equilibrio con la resistenza degli e/m duttili. Usare i valori medi <u>moltiplicati</u> per FC.					
Fragile	Verifiche (se il ML è accettato)		Dall'analisi. Usare i valori medi nel modello.	In termini di resistenza. Usare i valori medi <u>divisi</u> per il FC e per il coefficiente parziale.	

Tabella C8.4 – Valori delle proprietà dei materiali e criteri di analisi e di verifica della sicurezza

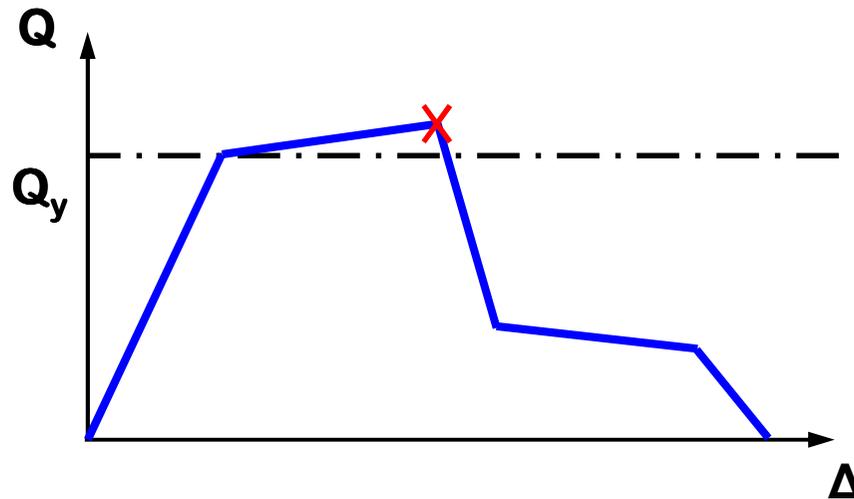
MODALITA' DI APPLICAZIONE DELL'ANALISI



MODALITA' DI APPLICAZIONE DELL'ANALISI

C8.7.2.4 Metodi di analisi e criteri di verifica

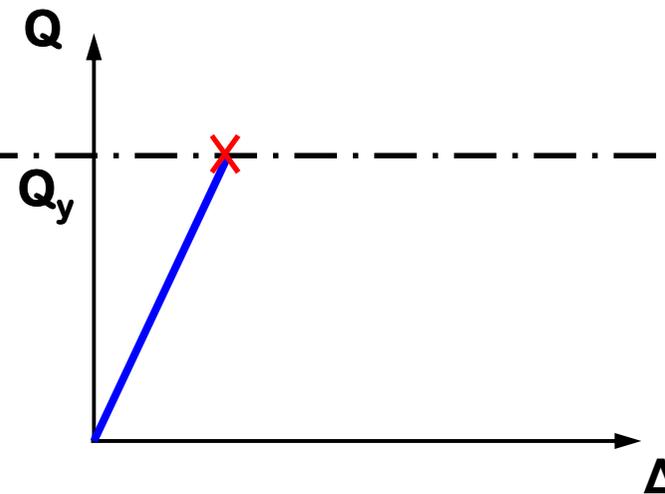
Meccanismi duttili



Rottura legata a limiti di duttilità

Verifiche in duttilità in termini di deformazione

Meccanismi fragili



Rottura legata a limiti di resistenza

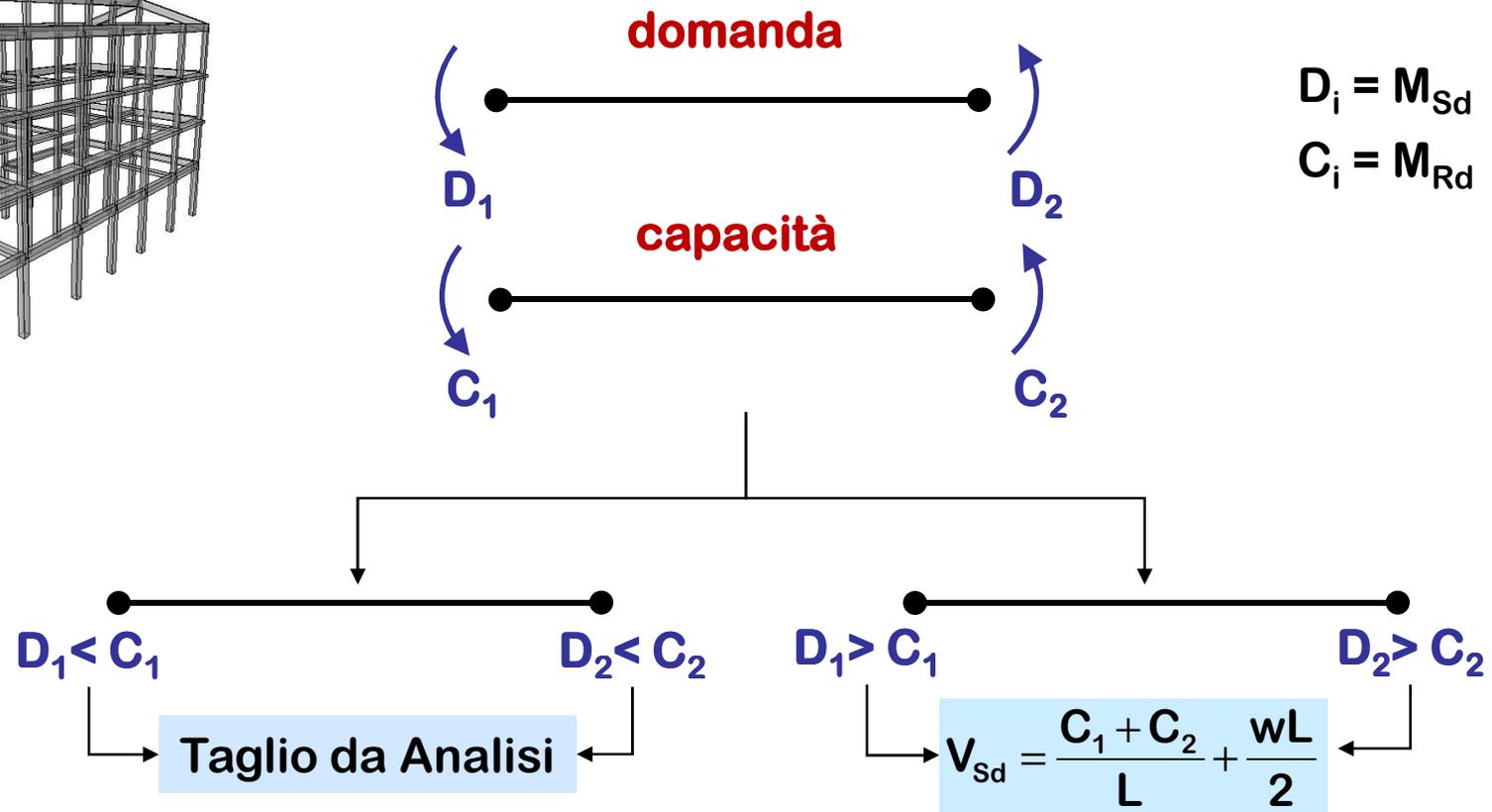
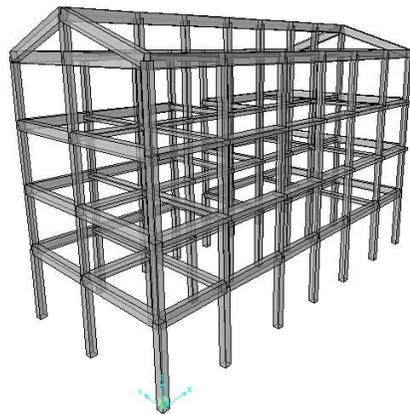
Verifiche in termini di resistenza

APPLICABILITA' ANALISI LINEARE

(con spettro elastico)

C8.7.2.4 Metodi di analisi e criteri di verifica – Analisi Statica Lineare

Meccanismi fragili



PROPRIETA' DEI MATERIALI

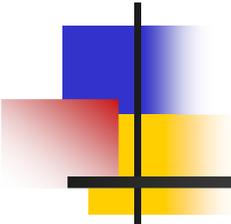
C8.7.2.4 Metodi di analisi e criteri di verifica – Analisi Statica Lineare

MATERIALI UTILIZZATI NELLA DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'		CLS	ACCIAIO
MECCANISMI DUTTILI	<u>Proprietà materiali ottenuti in sito</u> FC	$\frac{f_{cm}}{FC} = \frac{15.81}{1.00} = 15.81 \text{ MPa}$	$\frac{f_{ym}}{FC} = \frac{430}{1,0} = 430 \text{ MPa}$
MECCANISMI FRAGILI	<u>Proprietà materiali ottenuti in sito</u> $\gamma_m FC$	$\frac{f_{cm}}{\gamma_c FC} = \frac{15.81}{1.6 \cdot 1.00} = 9.88 \text{ MPa}$	$\frac{f_{ym}}{\gamma_s FC} = \frac{430}{1,15 \cdot 1,0} = 374 \text{ MPa}$

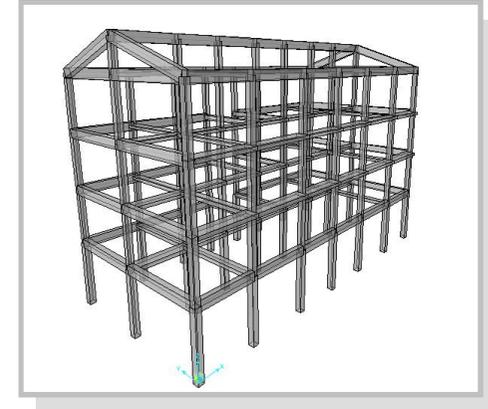
C8.7.2.5 Modelli di capacità per la valutazione di edifici in cemento armato

Classificazione elementi e meccanismi resistenti:

- “Duttili”: travi, pilastri e pareti inflesse con e senza N (N piccolo)
- “Fragili”: meccanismi di taglio in travi, pilastri e pareti ed i nodi pilastri soggetti a N grande ($> N_{bal}$)



Analisi della struttura secondo le NTC 2008



- **Analisi dinamica modale**
 - **Analisi modale**
 - **Modalità di applicazione dell'analisi**
 - **Applicabilità dell'analisi dinamica modale con spettro elastico**
 - **Analisi dinamica modale con fattore di struttura**
 - **Verifiche di sicurezza con fattore di struttura**

APPLICABILITA' ANALISI LINEARE

(con spettro elastico)

TRAVI

$$q = 1.0$$

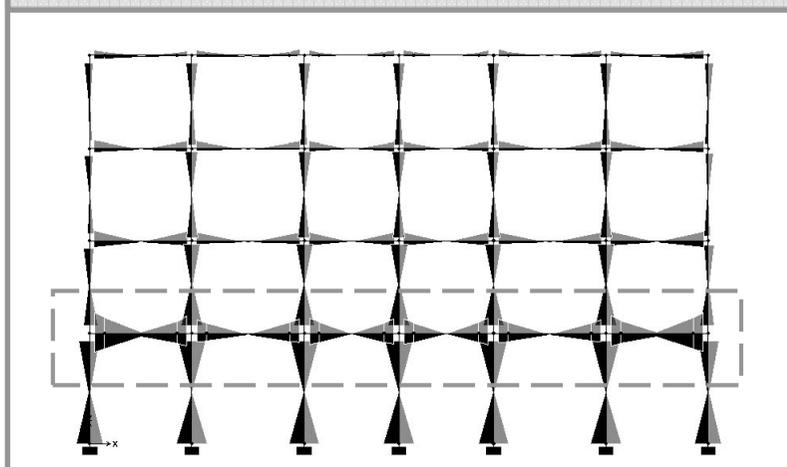


DOMANDA/CAPACITA'		
ρ_{max}	ρ_{min}	ρ_{max}/ρ_{min}
3.45	2.07	1.67

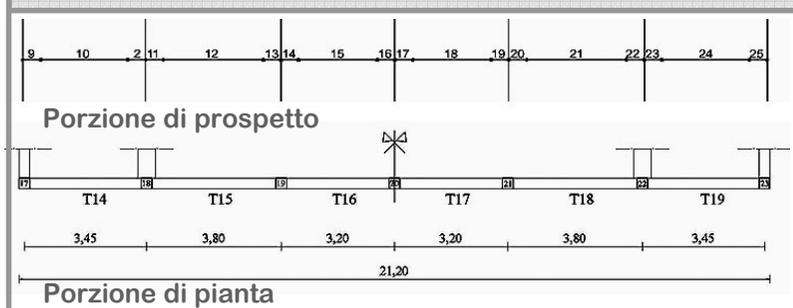
$\rho_{max}/\rho_{min} < 2.5$

ANALISI LINEARE APPLICABILE

DIAGRAMMA DEI MOMENTI



NUMERAZIONE



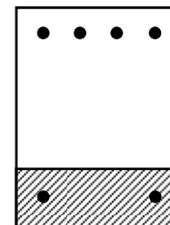
ARMATURA TESA INFERIORE

APPLICABILITÀ ANALISI LINEARE con $q = 1$					DOMANDA	CAPACITA'	DOMANDA/CAPACITA'		
Trave	L	Frame	Station	Step	Msd	x	MRd	$\rho_i = D_i/C_i$	$\rho_i \geq 2$
Text	m	Text	m	Text	KNm	cm	kNm		
T14	3.45	9	0.175	Max	207.06	3.20	60.02	3.45	3.45
		2	0.325	Max	138.82	3.20	60.02	2.31	2.31
T15	3.8	11	0.175	Max	97.39	3.20	60.02	1.62	-
		13	0.325	Max	102.21	3.20	60.02	1.70	-
T16	3.2	14	0.175	Max	126.24	3.20	60.02	2.10	2.10
		16	0.325	Max	124.12	3.20	60.02	2.07	2.07
T17	3.2	17	0.175	Max	124.04	3.20	60.02	2.07	2.07
		19	0.325	Max	126.01	3.20	60.02	2.10	2.10
T18	3.8	20	0.175	Max	102.69	3.20	60.02	1.71	-
		22	0.325	Max	97.61	3.20	60.02	1.63	-
T19	3.45	23	0.175	Max	139.13	3.20	60.02	2.32	2.32
		25	0.325	Max	205.92	3.20	60.02	3.43	3.43

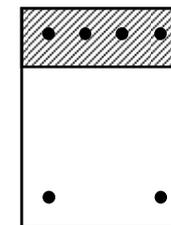
CASI ESAMINATI

TRAVE DI ESTREMITA'

Armatura tesa superiore



Armatura tesa inferiore



APPLICABILITA' ANALISI LINEARE

(con spettro elastico)

TRAVI

$q = 1.0$

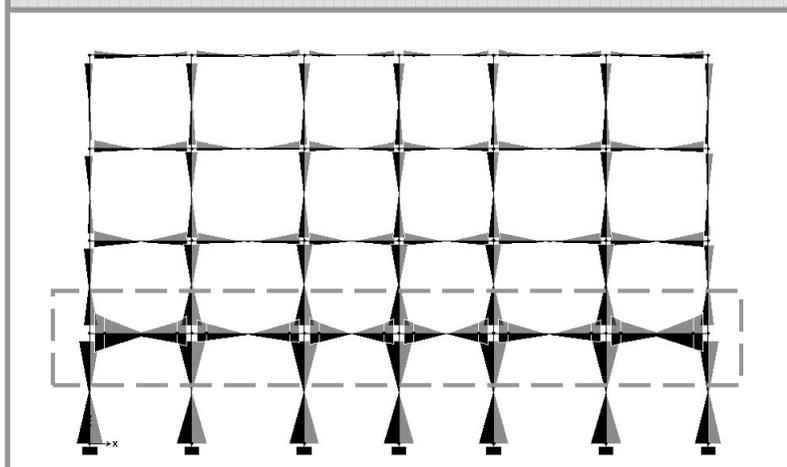


DOMANDA/CAPACITA'		
ρ_{max}	ρ_{min}	ρ_{max}/ρ_{min}
-	-	-

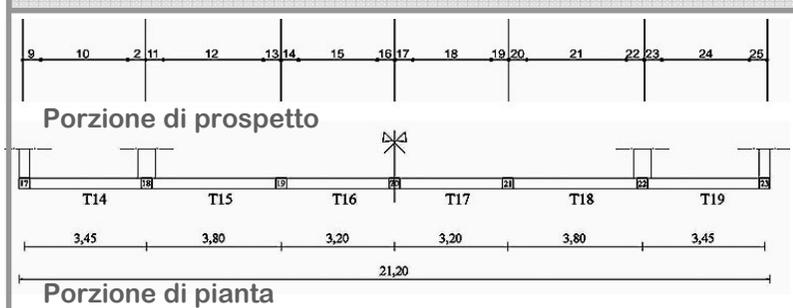
$\rho_{max}/\rho_{min} < 2.5$

ANALISI LINEARE APPLICABILE

DIAGRAMMA DEI MOMENTI



NUMERAZIONE



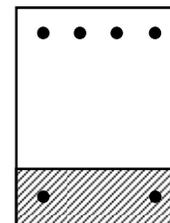
ARMATURA TESA SUPERIORE

APPLICABILITÀ ANALISI LINEARE con $q = 1$					DOMANDA	CAPACITA'	DOMANDA/CAPACITA'		
Trave	L	Frame	Station	Step	Msd	x	MRd	$\rho_i = D_i/C_i$	$\rho_i \geq 2$
Text	m	Text	m	Text	KNm	cm	kNm		
T14	3.45	9	0.175	Min	-229.86	5.19	-117.97	1.95	-
		2	0.325	Min	-190.62	5.19	-117.97	1.62	-
T15	3.8	11	0.175	Min	-150.98	5.19	-117.97	1.28	-
		13	0.325	Min	-158.51	5.19	-117.97	1.34	-
T16	3.2	14	0.175	Min	-171.46	5.19	-117.97	1.45	-
		16	0.325	Min	-161.05	5.19	-117.97	1.37	-
T17	3.2	17	0.175	Min	-160.99	5.19	-117.97	1.36	-
		19	0.325	Min	-171.24	5.19	-117.97	1.45	-
T18	3.8	20	0.175	Min	-159.05	5.19	-117.97	1.35	-
		22	0.325	Min	-151.12	5.19	-117.97	1.28	-
T19	3.45	23	0.175	Min	-191.07	5.19	-117.97	1.62	-
		25	0.325	Min	-228.56	5.19	-117.97	1.94	-

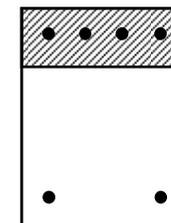
CASI ESAMINATI

TRAVE DI ESTREMITA'

Armatura tesa superiore



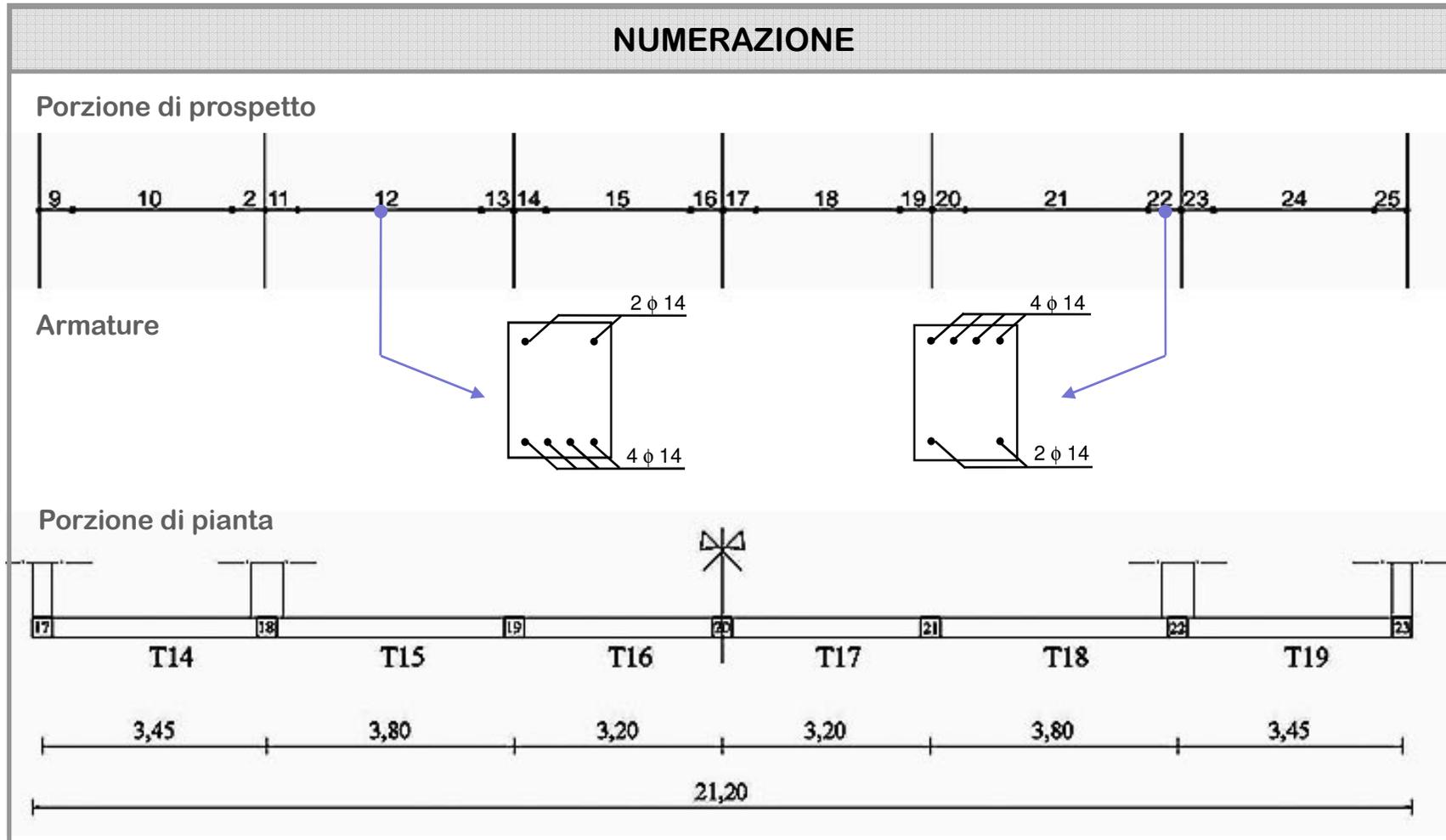
Armatura tesa inferiore



APPLICABILITA' ANALISI LINEARE

(con spettro elastico)

TRAVI



APPLICABILITA' ANALISI LINEARE

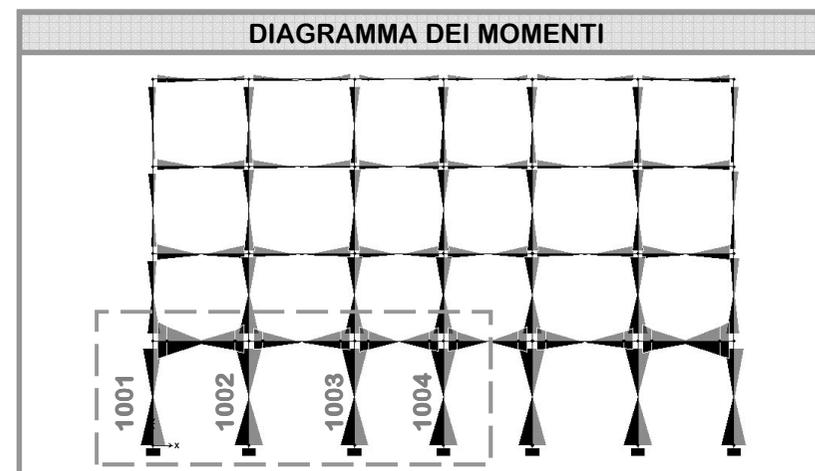
(con spettro elastico)

PILASTRI

$$q = 1.0$$



DOMANDA/CAPACITA'		
ρ_{max}	ρ_{min}	ρ_{max}/ρ_{min}
-	-	-
$\rho_{max}/\rho_{min} < 2.5$		



ANALISI LINEARE APPLICABILE

TABLE: Element Forces - Frames						DOMANDA			CAPACITA'	DOMANDA/CAPACITA'	
Telaio Text	Pilastro Text	Frame Text	Station m	OutputCase Text	StepType Text	P(G+0.3Q) KN	Vsd KN	Msd KN-m	MRd KN-m	$\rho_i = D_i/C_i$	$\rho_i \geq 2$
TELAIO 1		1001	0	Gk+0.3Qk+E	Max	-430.76	75.28	148.26	130.32	1.14	-
TELAIO 1		1001	3.45	Gk+0.3Qk+E	Max	-430.76	75.28	125.94	130.32	0.97	-
TELAIO 1	P17	1001	0	Gk+0.3Qk+E	Min	-430.76	-81.73	-156.07	130.32	1.20	-
TELAIO 1		1001	3.45	Gk+0.3Qk+E	Min	-430.76	-81.73	-111.48	130.32	0.86	-
TELAIO 1		1002	0	Gk+0.3Qk+E	Max	-556.55	97.14	174.70	138.77	1.26	-
TELAIO 1	P18	1002	3.45	Gk+0.3Qk+E	Max	-556.55	97.14	160.26	138.77	1.15	-
TELAIO 1		1002	0	Gk+0.3Qk+E	Min	-556.55	-97.06	-174.62	138.77	1.26	-
TELAIO 1		1002	3.45	Gk+0.3Qk+E	Min	-556.55	-97.06	-160.45	138.77	1.16	-
TELAIO 1		1003	0	Gk+0.3Qk+E	Max	-432.36	95.82	173.10	130.45	1.33	-
TELAIO 1	P19	1003	3.45	Gk+0.3Qk+E	Max	-432.36	95.82	152.28	130.45	1.17	-
TELAIO 1		1003	0	Gk+0.3Qk+E	Min	-432.36	-93.51	-170.32	130.45	1.31	-
TELAIO 1		1003	3.45	Gk+0.3Qk+E	Min	-432.36	-93.51	-157.47	130.45	1.21	-
TELAIO 1		1004	0	Gk+0.3Qk+E	Max	-376.44	96.67	174.13	125.60	1.39	-
TELAIO 1	P20	1004	3.45	Gk+0.3Qk+E	Max	-376.44	96.67	159.42	125.60	1.27	-
TELAIO 1		1004	0	Gk+0.3Qk+E	Min	-376.44	-96.69	-174.17	125.60	1.39	-
TELAIO 1		1004	3.45	Gk+0.3Qk+E	Min	-376.44	-96.69	-159.38	125.60	1.27	-

APPLICABILITA' ANALISI LINEARE

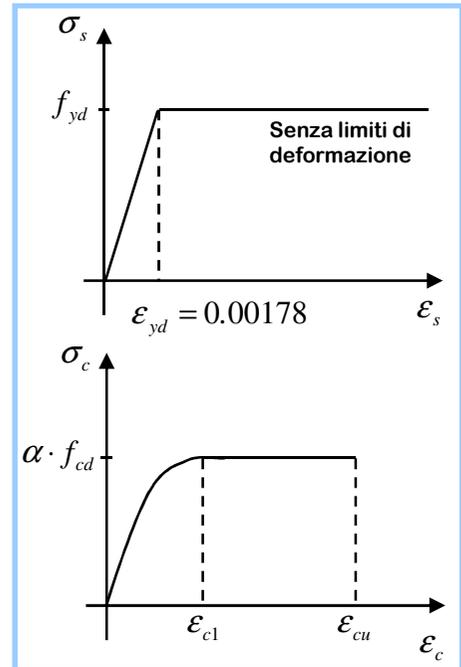
(con spettro elastico)

DETERMINAZIONE DELL'ASSE NEUTRO

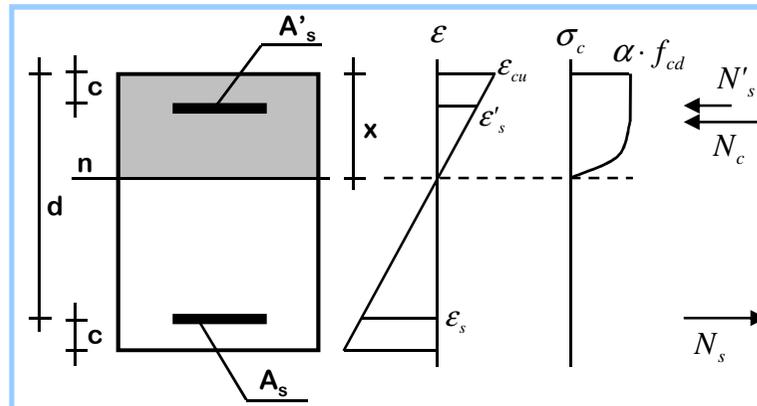
Modello non lineare - sezione fessurata - terzo stadio

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_s &= \frac{d-x}{x} \varepsilon_{cu} \\ \varepsilon'_s &= \frac{c-x}{x} \varepsilon_{cu} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_s &= -f_{yd} && \text{per } \varepsilon_s \leq -\varepsilon_{yd} \\ \sigma_s &= E_s \varepsilon_s && \text{per } -\varepsilon_{yd} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{yd} \\ \sigma_s &= f_{yd} && \text{per } \varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd} \end{aligned} \right\}$$



$$\left. \begin{aligned} N_s &= A_s \cdot \sigma_s \\ N'_s &= A'_s \cdot \sigma'_s \\ N_c &= -\beta \cdot b \cdot x \cdot \alpha \cdot f_{cd} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$



quando

$$N_s + N'_s + N_c = N_{sd} \Rightarrow$$

x = asse neutro

APPLICABILITA' ANALISI LINEARE

(con spettro elastico)

TRAVI

$$q = 1.0$$

L'analisi statica lineare può essere effettuata (...) con le seguenti indicazioni aggiuntive:

2. *La capacità C_i degli elementi/meccanismi fragili è maggiore della corrispondente domanda D_i , quest'ultima calcolata sulla base della resistenza degli elementi duttili adiacenti, se il loro ρ_i è maggiore di 1, oppure sulla base dei risultati dell'analisi se il loro ρ_i è minore di 1.*

Trave T14

$$\rho_{T14_1} = D_{14_1}/C_{14_1} = 3,45 > 1$$

$$V_{Sd}^1 = \frac{|M_{Rd}^{sx+}| + |M_{Rd}^{dx-}|}{L} + \frac{wL}{2} = 101.88 \text{ kN} > V_{Rd} = 87.24 \text{ kN}$$

$$V_{Sd}^2 = \frac{|M_{Rd}^{sx-}| + |M_{Rd}^{dx+}|}{L} + \frac{wL}{2} = 101.88 \text{ kN} > V_{Rd} = 87.24 \text{ kN}$$

ANALISI LINEARE NON APPLICABILE

APPLICABILITA' ANALISI LINEARE

(con spettro elastico)

DETERMINAZIONE DEL TAGLIO RESISTENTE

Eurocodice 2 / 1992

Resistenza di un elemento strutturale privo di armatura a taglio:

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} k (1.2 + 40 \rho_l) + 0.15 \sigma_{cp}] \cdot b_w d = V_{cd}$$

Schiacciamento del puntone compresso

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9d$$

Resistenza a taglio di un elemento strutturale con armatura a taglio:

$$V_{Rd3} = \min(V_{wd} + V_{cd}; 2V_{wd}) = \\ = \min\left(V_{Rd1} + \frac{A_{sw}}{s} 0.9 \cdot d \cdot f_{yd}; 2 \cdot \frac{A_{sw}}{s} 0.9 \cdot d \cdot f_{yd}\right)$$

Eurocodice 2 / 2005

Resistenza di un elemento strutturale privo di armatura a taglio:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] \cdot b_w d$$

Schiacciamento del puntone compresso

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

Resistenza a taglio di un elemento strutturale con armatura a taglio:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

APPLICABILITA' ANALISI LINEARE

(con spettro elastico)

TRAVI - telaio 1x

q = 1.0

APPLICABILITÀ ANALISI LINEARE q = 1					DOMANDA			Sezione		CAPACITA'			DOMANDA	VERIFICA
Telaio Text	Trave Text	L m	Station m	Step Text	w kNm	Vsd_Sap kN	Msd kNm	b cm	h cm	MRd kNm	VRd kN	$\rho_i = D_i/C_i$	Vsd kN	
TELAIO 1x			0.175	Max		83.10	207.06	30	50	60.02	87.24	3.45		
TELAIO 1x	T14	3.45	3.275	Min	29.15	-73.75	-190.62	30	50	-117.97	-89.44	1.62	101.88	NON VERIFICATO
TELAIO 1x			0.175	Min		-164.11	-229.86	30	50	-117.97	-89.44	1.95	101.88	NON VERIFICATO
TELAIO 1x			3.275	Max		173.47	138.82	30	50	60.02	87.24	2.31		
TELAIO 1x			0.175	Max		23.89	97.39	30	50	60.02	87.24	1.62	102.22	NON VERIFICATO
TELAIO 1x	T15	3.8	3.625	Min	29.15	-23.10	-158.51	30	50	-117.97	-89.44	1.34		
TELAIO 1x			0.175	Min		-123.67	-150.98	30	50	-117.97	-89.44	1.28	102.22	NON VERIFICATO
TELAIO 1x			3.625	Max		124.46	102.21	30	50	60.02	87.24	1.70		
TELAIO 1x			0.175	Max		61.41	126.24	30	50	60.02	87.24	2.10	99.86	NON VERIFICATO
TELAIO 1x	T16	3.2	3.025	Min	27.65	-64.31	-161.05	30	50	-117.97	-89.44	1.37		
TELAIO 1x			0.175	Min		-143.11	-171.46	30	50	-117.97	-89.44	1.45	99.86	NON VERIFICATO
TELAIO 1x			3.025	Max		140.21	124.12	30	50	60.02	87.24	2.07		
TELAIO 1x			0.175	Max		64.20	124.04	30	50	60.02	87.24	2.07	99.86	NON VERIFICATO
TELAIO 1x	T17	3.2	3.025	Min	27.65	-61.30	-171.24	30	50	-117.97	-89.44	1.45		
TELAIO 1x			0.175	Min		-140.10	-160.99	30	50	-117.97	-89.44	1.36	99.86	NON VERIFICATO
TELAIO 1x			3.025	Max		143.01	126.01	30	50	60.02	87.24	2.10		
TELAIO 1x			0.175	Max		23.28	102.69	30	50	60.02	87.24	1.71	102.22	NON VERIFICATO
TELAIO 1x	T18	3.8	3.625	Min	29.15	-24.11	-151.12	30	50	-117.97	-89.44	1.28		
TELAIO 1x			0.175	Min		-124.68	-159.05	30	50	-117.97	-89.44	1.35	102.22	NON VERIFICATO
TELAIO 1x			3.625	Max		123.85	97.61	30	50	60.02	87.24	1.63		
TELAIO 1x			0.175	Max		73.43	139.13	30	50	60.02	87.24	2.32	101.88	NON VERIFICATO
TELAIO 1x	T19	3.45	3.275	Min	29.15	-82.88	-228.56	30	50	-117.97	-89.44	1.94		
TELAIO 1x			0.175	Min		-173.24	-191.07	30	50	-117.97	-89.44	1.62	101.88	NON VERIFICATO
TELAIO 1x			3.275	Max		163.79	205.92	30	50	60.02	87.24	3.43		

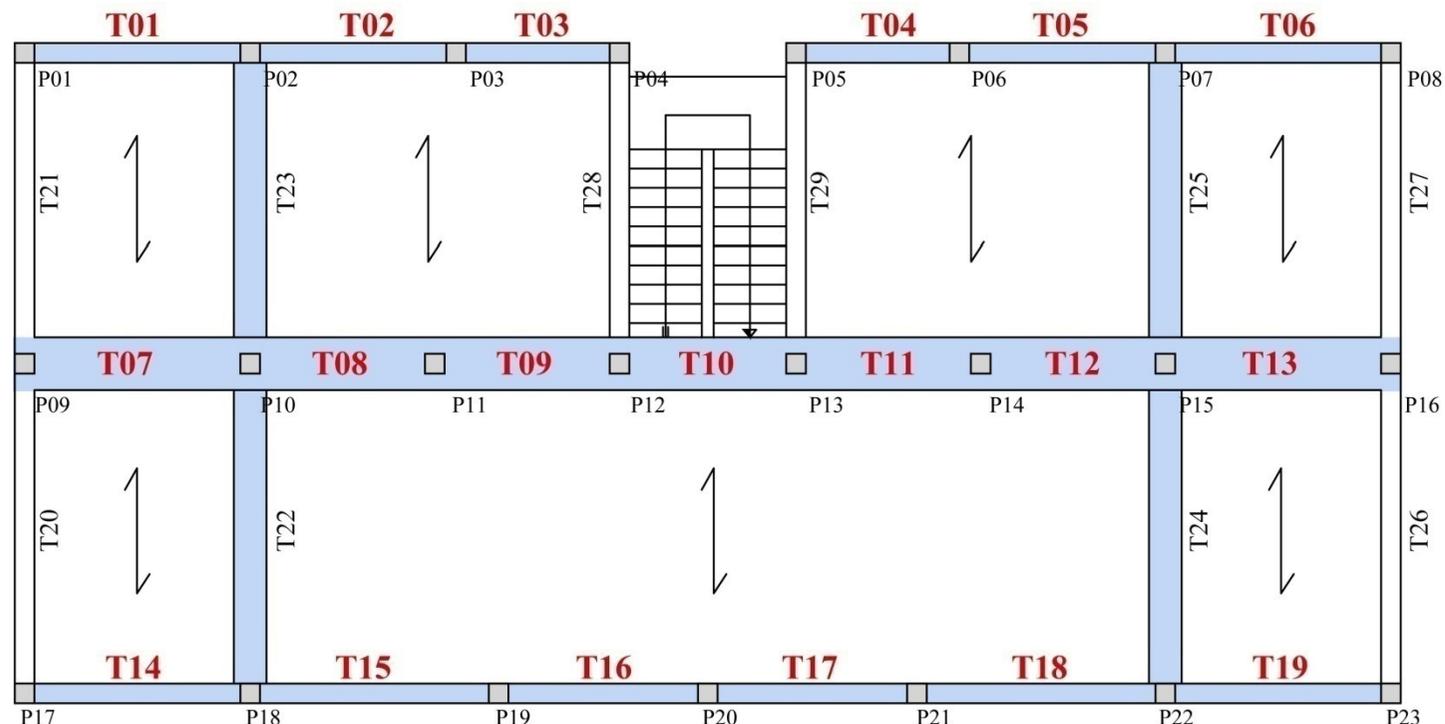
ANALISI LINEARE NON APPLICABILE

APPLICABILITA' ANALISI LINEARE

(con spettro elastico)

TRAVI

$q = 1.0$



Travi in cui **CAPACITA' < DOMANDA**

ANALISI LINEARE NON APPLICABILE CON $q = 1$

APPLICABILITA' ANALISI LINEARE

(con spettro elastico)

PILASTRI

$$q = 1.0$$

TABLE: Element Forces - Frames					DOMANDA			GEOMETRIA		ARMATURA		CAPACITA'			DOMANDA	VERIFICA	
Telaio Text	Pilastro Text	Frame Text	Station m	Step Text	P(G+0.3Q) kN	Vsd kN	Msd kNm	b cm	h cm	Arm.sup cm2	Arm.inf cm2	x cm	MRd kNm	VRd kN	$\rho_i = D_i/C_i$	Vsd kN	
TELAIO 1		1001	0	Max	-430.76	75.28	148.26	35	35	6.03	6.03	11.31	130.32	81.19	1.14	75.55	VERIFICATO
TELAIO 1	P17	1001	3.45	Min	-430.76	-81.73	-111.48	35	35	6.03	6.03	11.31	-130.32	-81.19	0.86		
TELAIO 1		1001	0	Min	-430.76	-81.73	-156.07	35	35	6.03	6.03	11.31	-130.32	-81.19	1.20	75.55	VERIFICATO
TELAIO 1		1001	3.45	Max	-430.76	75.28	125.94	35	35	6.03	6.03	11.31	130.32	81.19	0.97		
TELAIO 1		1002	0	Max	-556.55	97.14	174.70	35	35	6.03	6.03	14.61	138.77	81.19	1.26	80.45	VERIFICATO
TELAIO 1	P18	1002	3.45	Min	-556.55	-97.06	-160.45	35	35	6.03	6.03	14.61	-138.77	-81.19	1.16		
TELAIO 1		1002	0	Min	-556.55	-97.06	-174.62	35	35	6.03	6.03	14.61	-138.77	-81.19	1.26	80.45	VERIFICATO
TELAIO 1		1002	3.45	Max	-556.55	97.14	160.26	35	35	6.03	6.03	14.61	138.77	81.19	1.15		
TELAIO 1		1003	0	Max	-432.36	95.82	173.10	35	35	6.03	6.03	11.35	130.45	81.19	1.33	75.62	VERIFICATO
TELAIO 1	P19	1003	3.45	Min	-432.36	-93.51	-157.47	35	35	6.03	6.03	11.35	-130.45	-81.19	1.21		
TELAIO 1		1003	0	Min	-432.36	-93.51	-170.32	35	35	6.03	6.03	11.35	-130.45	-81.19	1.31	75.62	VERIFICATO
TELAIO 1		1003	3.45	Max	-432.36	95.82	152.28	35	35	6.03	6.03	11.35	130.45	81.19	1.17		
TELAIO 1		1004	0	Max	-376.44	96.67	174.13	35	35	6.03	6.03	9.88	125.60	81.19	1.39	72.81	VERIFICATO
TELAIO 1	P20	1004	3.45	Min	-376.44	-96.69	-159.38	35	35	6.03	6.03	9.88	-125.60	-81.19	1.27		
TELAIO 1		1004	0	Min	-376.44	-96.69	-174.17	35	35	6.03	6.03	9.88	-125.60	-81.19	1.39	72.81	VERIFICATO
TELAIO 1		1004	3.45	Max	-376.44	96.67	159.42	35	35	6.03	6.03	9.88	125.60	81.19	1.27		
TELAIO 1		1005	0	Max	-432.36	93.53	170.33	35	35	6.03	6.03	11.35	130.45	81.19	1.31	75.62	VERIFICATO
TELAIO 1	P21	1005	3.45	Min	-432.36	-95.88	-152.33	35	35	6.03	6.03	11.35	-130.45	-81.19	1.17		
TELAIO 1		1005	0	Min	-432.36	-95.88	-173.19	35	35	6.03	6.03	11.35	-130.45	-81.19	1.33	75.62	VERIFICATO
TELAIO 1		1005	3.45	Max	-432.36	93.53	157.61	35	35	6.03	6.03	11.35	130.45	81.19	1.21		
TELAIO 1		1006	0	Max	-557.63	97.16	174.72	35	35	6.03	6.03	14.64	138.83	81.19	1.26	80.48	VERIFICATO
TELAIO 1	P22	1006	3.45	Min	-557.63	-97.28	-160.48	35	35	6.03	6.03	14.64	-138.83	-81.19	1.16		
TELAIO 1		1006	0	Min	-557.63	-97.28	-174.88	35	35	6.03	6.03	14.64	-138.83	-81.19	1.26	80.48	VERIFICATO
TELAIO 1		1006	3.45	Max	-557.63	97.16	160.74	35	35	6.03	6.03	14.64	138.83	81.19	1.16		
TELAIO 1		1007	0	Max	-433.08	82.38	156.86	35	35	6.03	6.03	11.37	130.50	81.19	1.20	75.65	VERIFICATO
TELAIO 1	P23	1007	3.45	Min	-433.08	-75.97	-127.40	35	35	6.03	6.03	11.37	-130.50	-81.19	0.98		
TELAIO 1		1007	0	Min	-433.08	-75.97	-149.12	35	35	6.03	6.03	11.37	-130.50	-81.19	1.14	75.65	VERIFICATO
TELAIO 1		1007	3.45	Max	-433.08	82.38	113.00	35	35	6.03	6.03	11.37	130.50	81.19	0.87		

ANALISI LINEARE NON APPLICABILE (La verifica non è soddisfatta per tutti i pilastri)

APPLICABILITA' ANALISI LINEARE

(con spettro elastico – C8.7.2.4)

TRAVI E PILASTRI - Primo impalcato

Ripetendo le operazioni mostrate per tutte le travi (sia con armatura tesa superiore che inferiore) e tutti i pilastri corrispondenti al PRIMO IMPALCATO, si ottiene:

Elementi - meccanismi duttili

TRAVI					
DOMANDA/CAPACITA'					
Arm. tesa inf.			Arm. tesa sup.		
ρ_{max}	ρ_{min}	ρ_{max}/ρ_{min}	ρ_{max}	ρ_{min}	ρ_{max}/ρ_{min}
5.09	2.07	2.46	2.85	2.01	1.42
ANALISI LINEARE APPLICABILE			ANALISI LINEARE APPLICABILE		

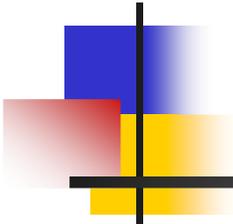
PILASTRI		
DOMANDA/CAPACITA'		
ρ_{max}	ρ_{min}	ρ_{max}/ρ_{min}
< 2.0	< 2.0	-
ANALISI LINEARE APPLICABILE		

Elementi - meccanismi fragili

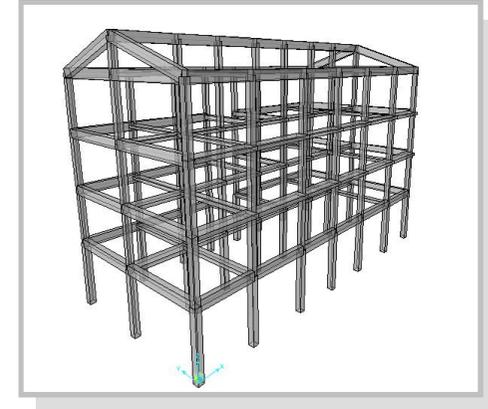
TRAVI	
DOMANDA	CAPACITA'
$V_{Sd,max}$ (T03-T04)	V_{Rd}
104.60	87.24
ANALISI LINEARE NON APPLICABILE	

PILASTRI	
DOMANDA	CAPACITA'
$V_{Sd,max}$ (P10-P15)	V_{Rd}
83.41	81.19
ANALISI LINEARE NON APPLICABILE	

Analisi lineare con $q = 1.0$ non applicabile



Analisi della struttura secondo le NTC 2008



- **Analisi dinamica modale**
 - **Analisi modale**
 - **Modalità di applicazione dell'analisi**
 - **Applicabilità dell'analisi dinamica modale con spettro elastico**
 - **Analisi dinamica modale con fattore di struttura**
 - **Verifiche di sicurezza con fattore di struttura**

MODALITA' DI APPLICAZIONE DELL'ANALISI

Analisi statica lineare - dinamica modale

q = 1.0

CAMPO DI APPLICABILITA'

Se: $\rho_{\max}/\rho_{\min} < 2.5$
 $V_{Rd} > V_{Sd}$

Dove

$\rho_i = (M_{Sdi}/M_{Rdi}) \geq 2$

Dall'analisi se $\rho_i < 1$

V_{Sd} $\left\{ \begin{array}{l} \text{Dai meccanismi duttili} \\ \text{se } \rho_i > 1 \end{array} \right.$

Verifiche

Elementi duttili

$$D_i \leq C_i$$

In deformazione

Elementi fragili

$$D_i \leq C_i$$

In resistenza

q > 1.0

CAMPO DI APPLICABILITA'
sempre

1.5 ≤ q ≤ 3.0
Elementi duttili

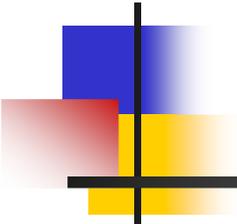
q = 1.5
Elementi fragili

Verifiche

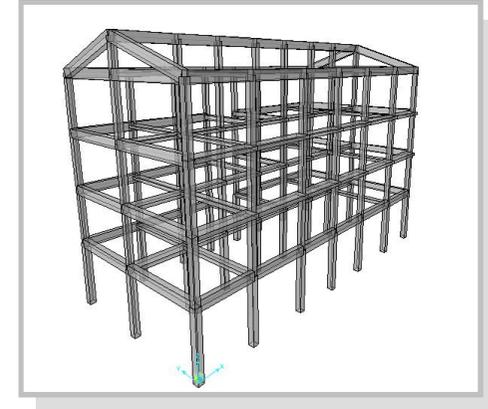
Elementi duttili / fragili

$$D_i \leq C_i$$

In resistenza



Analisi della struttura secondo le NTC 2008

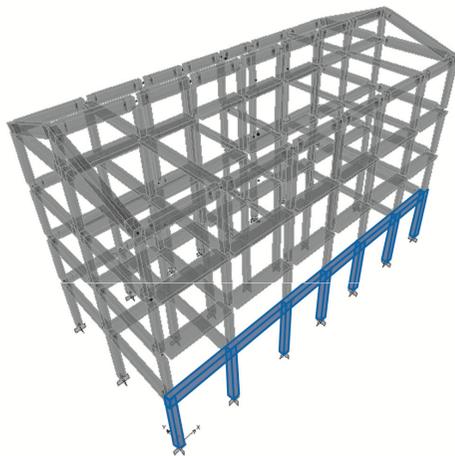


- **Analisi dinamica modale**
 - **Analisi modale**
 - **Modalità di applicazione dell'analisi**
 - **Applicabilità dell'analisi dinamica modale con spettro elastico**
 - **Analisi dinamica modale con fattore di struttura**
 - **Verifiche di sicurezza con fattore di struttura**

VERIFICHE DI SICUREZZA

(con fattore di struttura - C8.7.2.4)

TRAVI: Confronto tra domanda e capacità



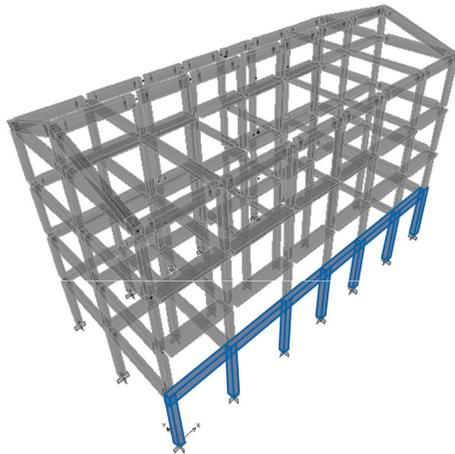
$q = 1.5$

VERIFICHE CON $q = 1.5$				DOMANDA		CAPACITA'		VERIFICHE	
Trave	Frame	OutputCase	Step	VSd	MSd	MRd	VRd	Momento	Taglio
Text	Text	Text	Text	KN	KN-m	kN-m	kN		
T14	9	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	41.90	134.24	60.02	87.24	NON VERIFICATO	VERIFICATO
	2	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	132.27	83.92	60.02	87.24	NON VERIFICATO	NON VERIFICATO
	9	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-122.91	-157.04	-117.97	-89.44	NON VERIFICATO	NON VERIFICATO
	2	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-32.54	-135.72	-117.97	-89.44	NON VERIFICATO	VERIFICATO
T15	11	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-0.71	56.00	60.02	87.24	VERIFICATO	VERIFICATO
	13	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	99.86	58.76	60.02	87.24	VERIFICATO	NON VERIFICATO
	11	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-99.08	-109.58	-117.97	-89.44	VERIFICATO	NON VERIFICATO
	13	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	1.49	-115.05	-117.97	-89.44	VERIFICATO	VERIFICATO
T16	14	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	27.32	76.63	60.02	87.24	NON VERIFICATO	VERIFICATO
	16	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	106.12	76.59	60.02	87.24	NON VERIFICATO	NON VERIFICATO
	14	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-109.03	-121.84	-117.97	-89.44	NON VERIFICATO	NON VERIFICATO
	16	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-30.22	-113.53	-117.97	-89.44	VERIFICATO	VERIFICATO
T17	17	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	30.15	76.53	60.02	87.24	NON VERIFICATO	VERIFICATO
	19	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	108.96	76.47	60.02	87.24	NON VERIFICATO	NON VERIFICATO
	17	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-106.05	-113.49	-117.97	-89.44	VERIFICATO	NON VERIFICATO
	19	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-27.25	-121.70	-117.97	-89.44	NON VERIFICATO	VERIFICATO
T18	20	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-1.38	59.07	60.02	87.24	VERIFICATO	VERIFICATO
	22	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	99.19	56.16	60.02	87.24	VERIFICATO	NON VERIFICATO
	20	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-100.02	-115.43	-117.97	-89.44	VERIFICATO	NON VERIFICATO
	22	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	0.55	-109.67	-117.97	-89.44	VERIFICATO	VERIFICATO
T19	23	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	32.31	84.10	60.02	87.24	NON VERIFICATO	VERIFICATO
	25	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	122.68	133.51	60.02	87.24	NON VERIFICATO	NON VERIFICATO
	23	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-132.13	-136.03	-117.97	-89.44	NON VERIFICATO	NON VERIFICATO
	25	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-41.77	-156.15	-117.97	-89.44	NON VERIFICATO	VERIFICATO

VERIFICHE DI SICUREZZA

(con fattore di struttura - C8.7.2.4)

TRAVI: Confronto tra domanda e capacità



q = 3.0

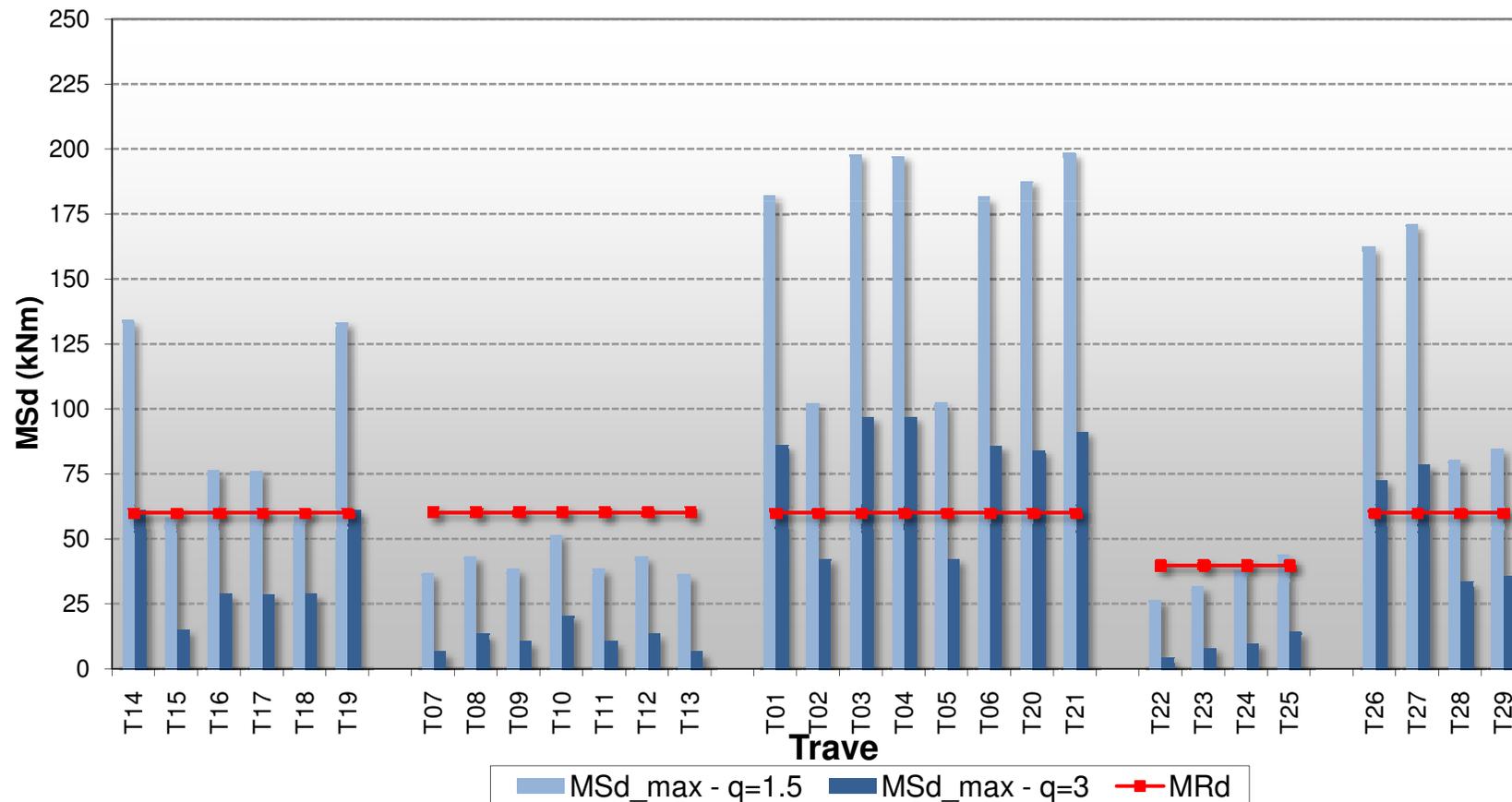
VERIFICHE CON $q = 3.0$					DOMANDA		CAPACITA'		VERIFICHE	
Telaio Text	Trave Text	Frame Text	OutputCase Text	Step Text	Vsd kN	Msd kNm	MRd kNm	VRd kN	Meccanismi duttili Momento	Meccanismi fragili Taglio
TELAIO 1x	T14	9	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Max	0.70	61.42	60.02	87.24	NON VERIFICATO	NON APPLICABILE
TELAIO 1x		2	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Max	91.06	29.01	60.02	87.24	VERIFICATO	
TELAIO 1x		9	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Min	-81.71	-84.22	-117.97	-89.44	VERIFICATO	
TELAIO 1x		2	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Min	8.66	-80.81	-117.97	-89.44	VERIFICATO	
TELAIO 1x	T15	11	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Max	-25.30	14.60	60.02	87.24	VERIFICATO	
TELAIO 1x		13	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Max	75.27	15.30	60.02	87.24	VERIFICATO	
TELAIO 1x		11	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Min	-74.48	-68.19	-117.97	-89.44	VERIFICATO	
TELAIO 1x		13	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Min	26.08	-71.60	-117.97	-89.44	VERIFICATO	
TELAIO 1x	T16	14	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Max	-6.77	27.01	60.02	87.24	VERIFICATO	
TELAIO 1x		16	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Max	72.04	29.06	60.02	87.24	VERIFICATO	
TELAIO 1x		14	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Min	-74.94	-72.22	-117.97	-89.44	VERIFICATO	
TELAIO 1x		16	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Min	3.86	-66.00	-117.97	-89.44	VERIFICATO	
TELAIO 1x	T17	17	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Max	-3.90	29.03	60.02	87.24	VERIFICATO	
TELAIO 1x		19	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Max	74.91	26.93	60.02	87.24	VERIFICATO	
TELAIO 1x		17	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Min	-72.00	-65.98	-117.97	-89.44	VERIFICATO	
TELAIO 1x		19	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Min	6.80	-72.16	-117.97	-89.44	VERIFICATO	
TELAIO 1x	T18	20	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Max	-26.04	15.44	60.02	87.24	VERIFICATO	
TELAIO 1x		22	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Max	74.53	14.70	60.02	87.24	VERIFICATO	
TELAIO 1x		20	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Min	-75.36	-71.81	-117.97	-89.44	VERIFICATO	
TELAIO 1x		22	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Min	25.21	-68.21	-117.97	-89.44	VERIFICATO	
TELAIO 1x	T19	23	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Max	-8.80	29.07	60.02	87.24	VERIFICATO	
TELAIO 1x		25	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Max	81.57	61.09	60.02	87.24	NON VERIFICATO	
TELAIO 1x		23	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Min	-91.02	-81.00	-117.97	-89.44	VERIFICATO	
TELAIO 1x		25	Gk+0,3Qk+E(q=3.0)	Min	-0.65	-83.73	-117.97	-89.44	VERIFICATO	

VERIFICHE DI SICUREZZA

(con fattore di struttura - C8.7.2.4)

TRAVI: Confronto tra domanda e capacità

Verifiche di sicurezza con fattore di struttura

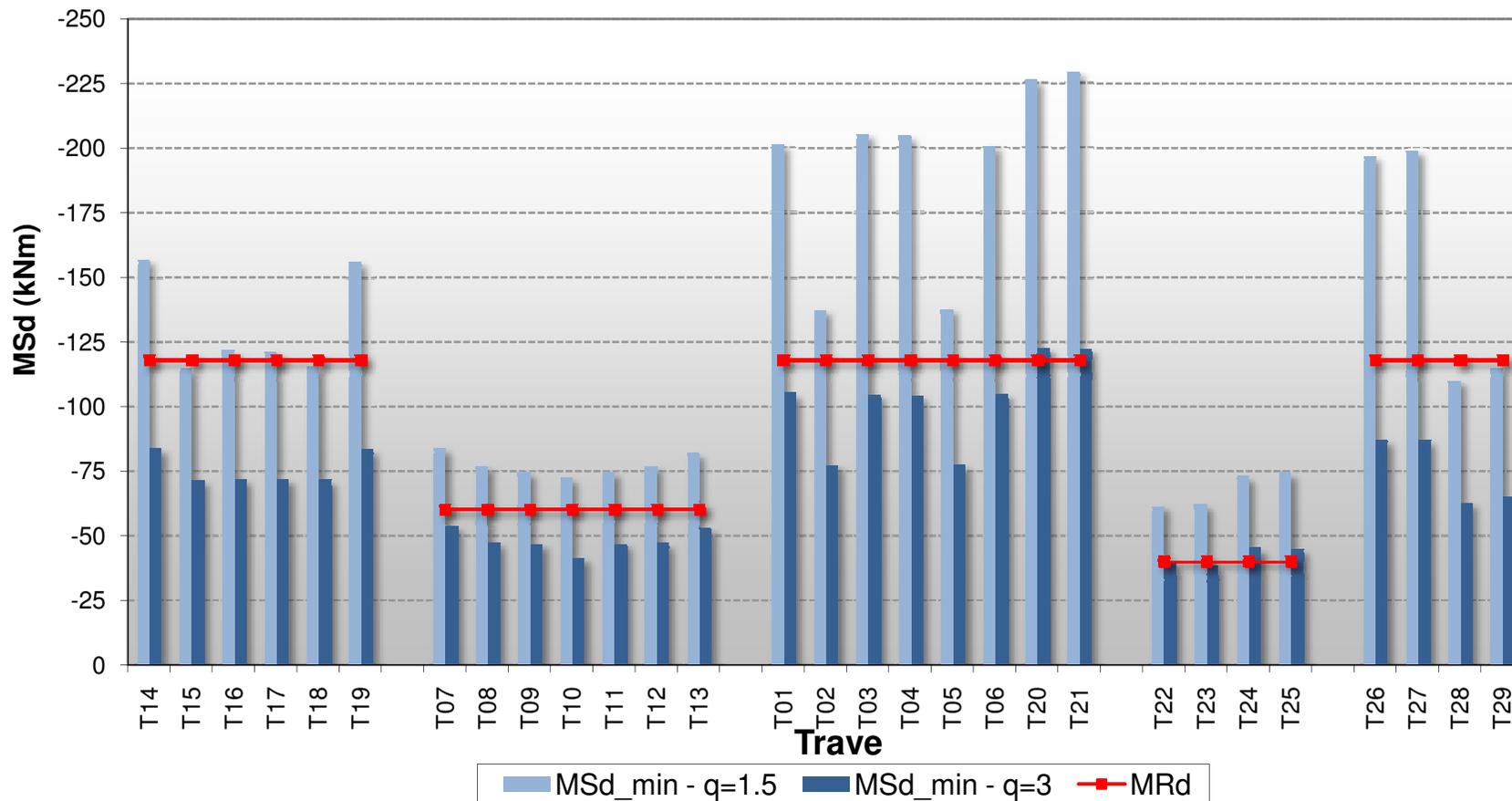


VERIFICHE DI SICUREZZA

(con fattore di struttura - C8.7.2.4)

TRAVI: Confronto tra domanda e capacità

Verifiche di sicurezza con fattore di struttura

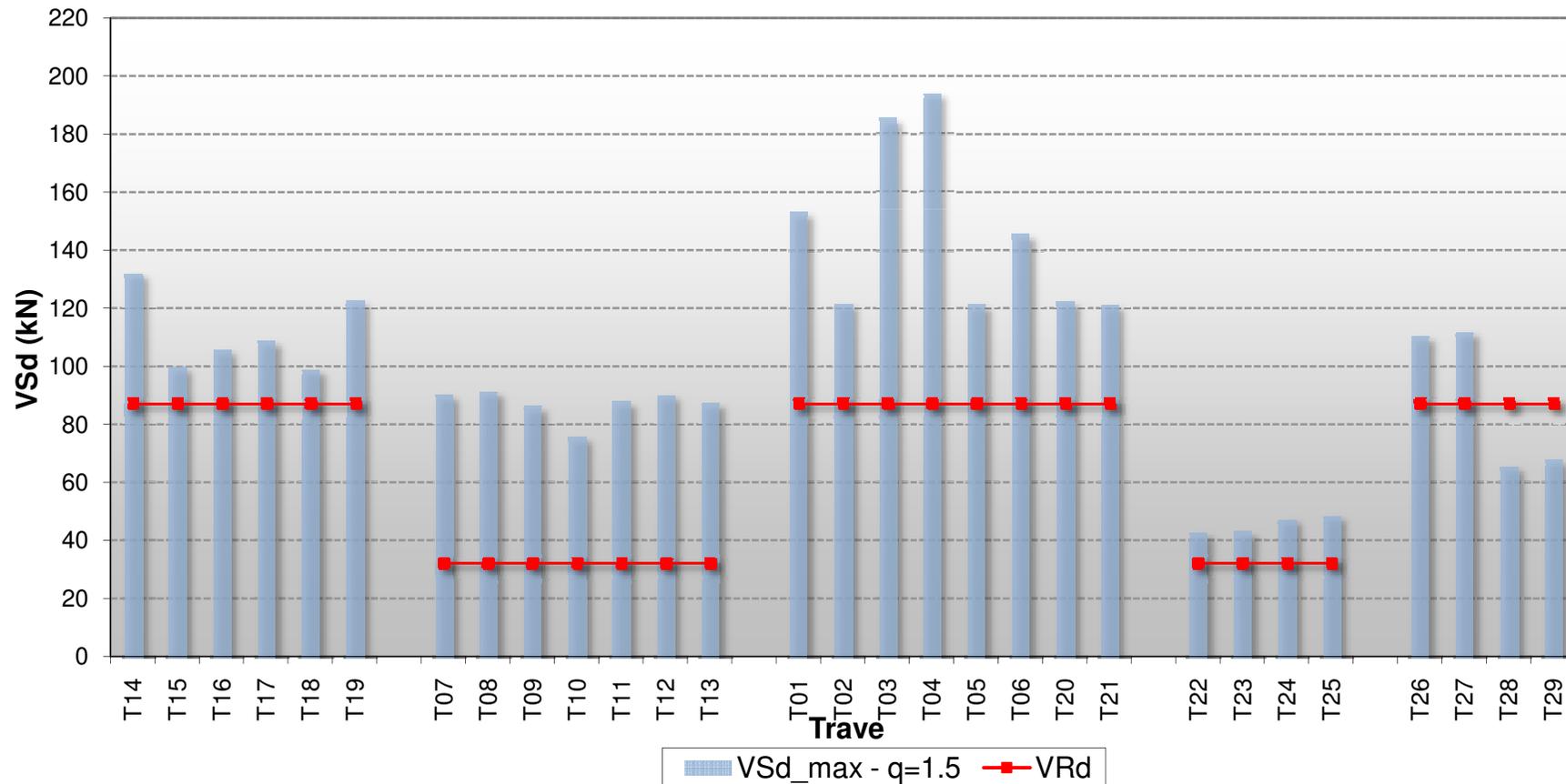


VERIFICHE DI SICUREZZA

(con fattore di struttura - C8.7.2.4)

TRAVI: Confronto tra domanda e capacità

Verifiche di sicurezza con fattore di struttura

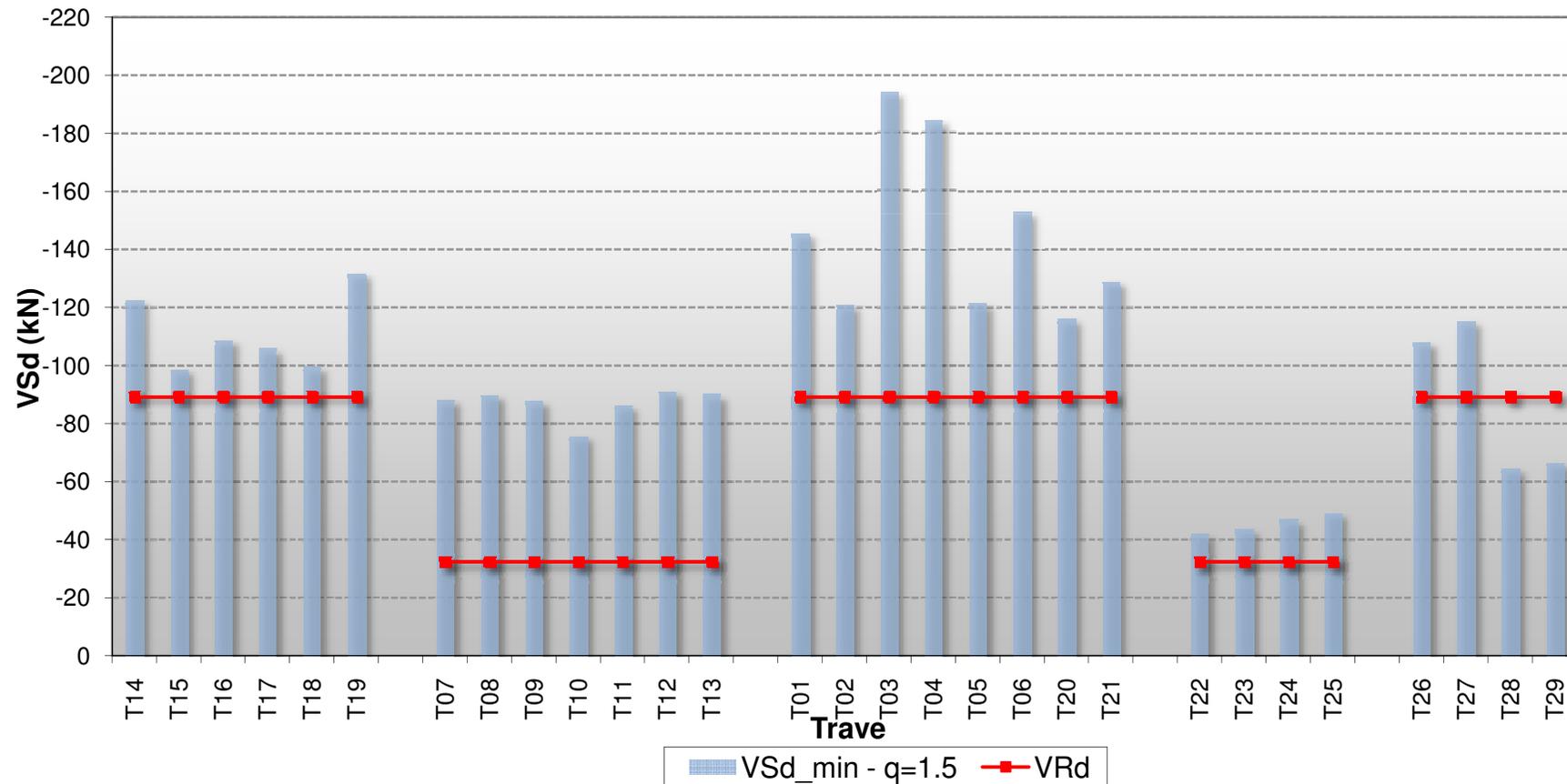


VERIFICHE DI SICUREZZA

(con fattore di struttura - C8.7.2.4)

TRAVI: Confronto tra domanda e capacità

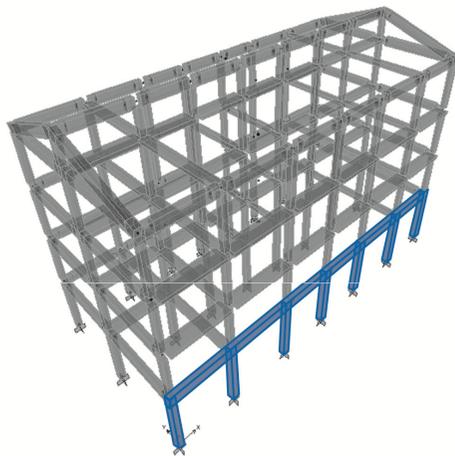
Verifiche di sicurezza con fattore di struttura



VERIFICHE DI SICUREZZA

(con fattore di struttura - C8.7.2.4)

PILASTRI: Confronto tra domanda e capacità



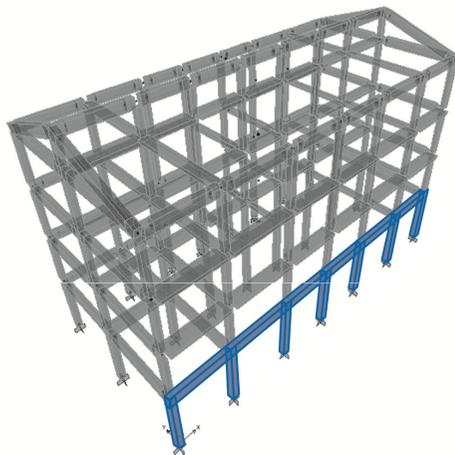
$q = 1.5$

Verifiche con $q = 1.5$					DOMANDA		CAPACITA'		VERIFICHE		
Telaio Text	Pilastro Text	Frame Text	OutputCase Text	Step Text	P(G+0.3Q) KN	Vsd KN	Msd KN-m	MRd KN-m	VRd kN	Meccanismi fragili Taglio	Meccanismi duttili Momento
TELAIO 1	P17	1001	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-430.76	49.11	97.54	130.32	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1001	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-430.76	49.11	86.37	130.32	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1001	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-430.76	-55.56	-105.35	-130.32	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1001	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-430.76	-55.56	-71.91	-130.32	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1	P18	1002	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-556.55	64.77	116.48	138.77	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1002	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-556.55	64.77	106.81	138.77	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1002	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-556.55	-64.70	-116.40	-138.77	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1002	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-556.55	-64.70	-106.99	-138.77	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1	P19	1003	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-432.36	64.26	115.87	130.45	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1003	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-432.36	64.26	100.66	130.45	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1003	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-432.36	-61.95	-113.08	-130.45	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1003	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-432.36	-61.95	-105.85	-130.45	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1	P20	1004	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-376.44	64.44	116.08	125.60	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1004	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-376.44	64.44	106.28	125.60	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1004	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-376.44	-64.46	-116.12	-125.60	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1004	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-376.44	-64.46	-106.25	-125.60	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1	P21	1005	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-432.36	61.96	113.08	130.45	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1005	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-432.36	61.96	105.95	130.45	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1005	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-432.36	-64.32	-115.94	-130.45	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1005	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-432.36	-64.32	-100.68	-130.45	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1	P22	1006	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-557.63	64.75	116.46	138.83	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1006	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-557.63	64.75	107.20	138.83	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1006	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-557.63	-64.87	-116.61	-138.83	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1006	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-557.63	-64.87	-106.94	-138.83	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1	P23	1007	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-433.08	55.99	105.86	130.50	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1007	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Max	-433.08	55.99	72.93	130.50	81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1007	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-433.08	-49.58	-98.12	-130.50	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO
TELAIO 1		1007	Gk+0,3Qk+E(q=1.5)	Min	-433.08	-49.58	-87.33	-130.50	-81.19	VERIFICATO	VERIFICATO

VERIFICHE DI SICUREZZA

(con fattore di struttura - C8.7.2.4)

PILASTRI: Confronto tra domanda e capacità



$q = 3.0$

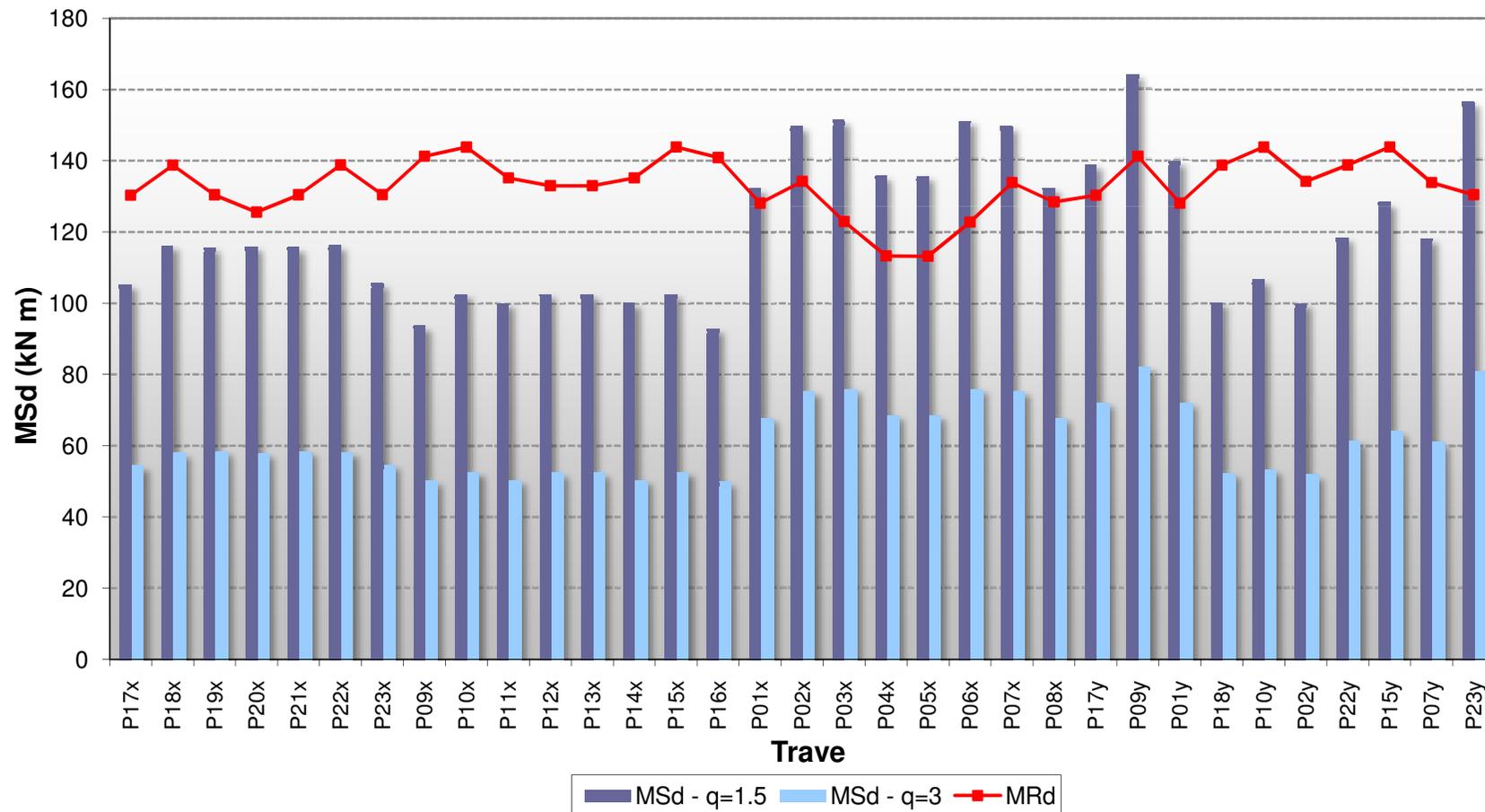
Verifiche con $q = 3$						DOMANDA		CAPACITA'		VERIFICHE	
Telaio Text	Pilastro Text	Frame Text	OutputCase Text	StepType Text	P(G+0.3Q) KN	Vsd KN	Msd KN-m	MRd KN-m	VRd kN	Meccanismi fragili Taglio	Meccanismi duttili Momento
TELAIO 1	P17	1001	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-430.76	22.94	46.82	130.32	81.19	NON APPLICABILE	VERIFICATO
TELAIO 1		1001	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-430.76	22.94	46.80	130.32	81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1001	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-430.76	-29.39	-54.62	-130.32	-81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1001	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-430.76	-29.39	-32.34	-130.32	-81.19		VERIFICATO
TELAIO 1	P18	1002	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-556.55	32.41	58.26	138.77	81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1002	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-556.55	32.41	53.36	138.77	81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1002	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-556.55	-32.33	-58.18	-138.77	-81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1002	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-556.55	-32.33	-53.54	-138.77	-81.19		VERIFICATO
TELAIO 1	P19	1003	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-432.36	32.71	58.63	130.45	81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1003	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-432.36	32.71	49.03	130.45	81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1003	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-432.36	-30.40	-55.85	-130.45	-81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1003	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-432.36	-30.40	-54.22	-130.45	-81.19		VERIFICATO
TELAIO 1	P20	1004	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-376.44	32.22	58.03	125.60	81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1004	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-376.44	32.22	53.15	125.60	81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1004	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-376.44	-32.24	-58.07	-125.60	-81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1004	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-376.44	-32.24	-53.12	-125.60	-81.19		VERIFICATO
TELAIO 1	P21	1005	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-432.36	30.39	55.83	130.45	81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1005	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-432.36	30.39	54.30	130.45	81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1005	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-432.36	-32.75	-58.68	-130.45	-81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1005	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-432.36	-32.75	-49.02	-130.45	-81.19		VERIFICATO
TELAIO 1	P22	1006	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-557.63	32.35	58.19	138.83	81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1006	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-557.63	32.35	53.67	138.83	81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1006	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-557.63	-32.47	-58.35	-138.83	-81.19		VERIFICATO
TELAIO 1		1006	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-557.63	-32.47	-53.41	-138.83	-81.19	VERIFICATO	
TELAIO 1	P23	1007	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-433.08	29.60	54.87	130.50	81.19	VERIFICATO	
TELAIO 1		1007	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Max	-433.08	29.60	32.87	130.50	81.19	VERIFICATO	
TELAIO 1		1007	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-433.08	-23.18	-47.13	-130.50	-81.19	VERIFICATO	
TELAIO 1		1007	Gk+0.3Qk+E(q=3)	Min	-433.08	-23.18	-47.27	-130.50	-81.19	VERIFICATO	

VERIFICHE DI SICUREZZA

(con fattore di struttura - C8.7.2.4)

PILASTRI: Confronto tra domanda e capacità

Verifiche di sicurezza con fattore di struttura

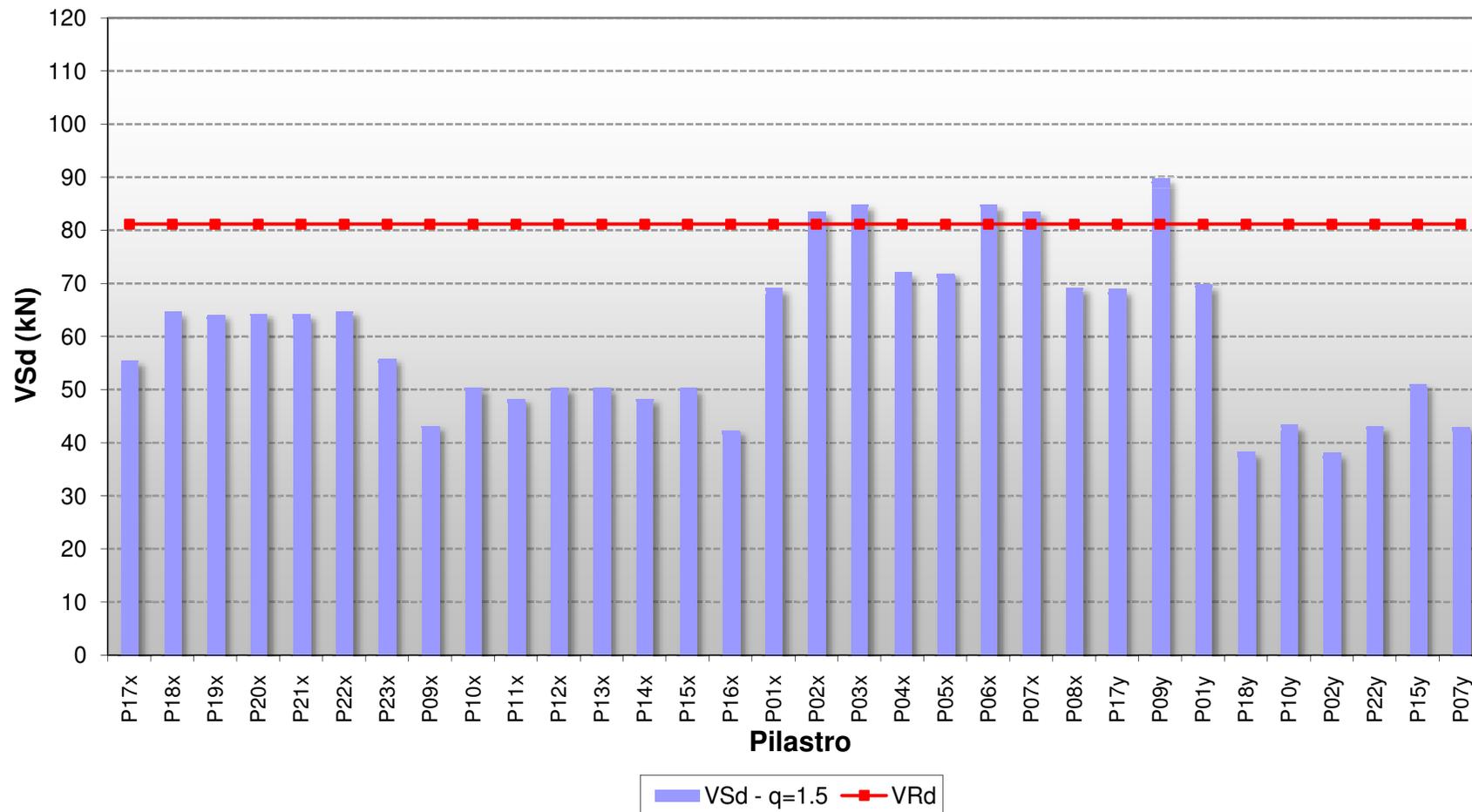


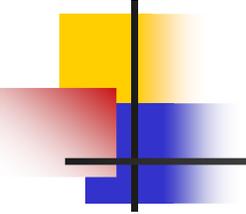
VERIFICHE DI SICUREZZA

(con fattore di struttura - C8.7.2.4)

PILASTRI: Confronto tra domanda e capacità

Verifiche di sicurezza con fattore di struttura





VERIFICHE DI SICUREZZA

E' inutile effettuare la **verifica dei nodi** visto che la verifica di travi e pilastri non è soddisfatta.

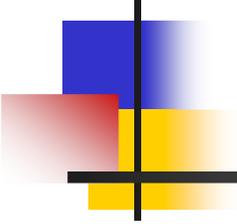
Vedremo in seguito la procedura

EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

- VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA (Criteri generali)
- LA GEOMETRIA DELL'EDIFICIO ED I MATERIALI UTILIZZATI
- DEFINIZIONE DELLE AZIONI AGENTI SULLA STRUTTURA E DEL MODELLO GEOMETRICO
- ANALISI DELLA STRUTTURA SECONDO LE NTC 2008 (e Circolare 617/2009)
 - Analisi Lineari
 - Analisi Non Lineari
- **EDIFICI DI INTERESSE STRATEGICO**

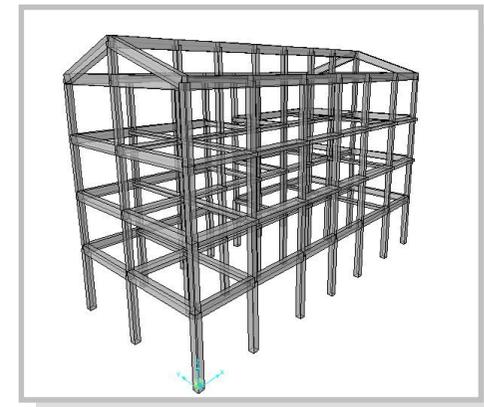


*Terremoto Molise
2002, Bonifro: gravi
danni al c.a.*



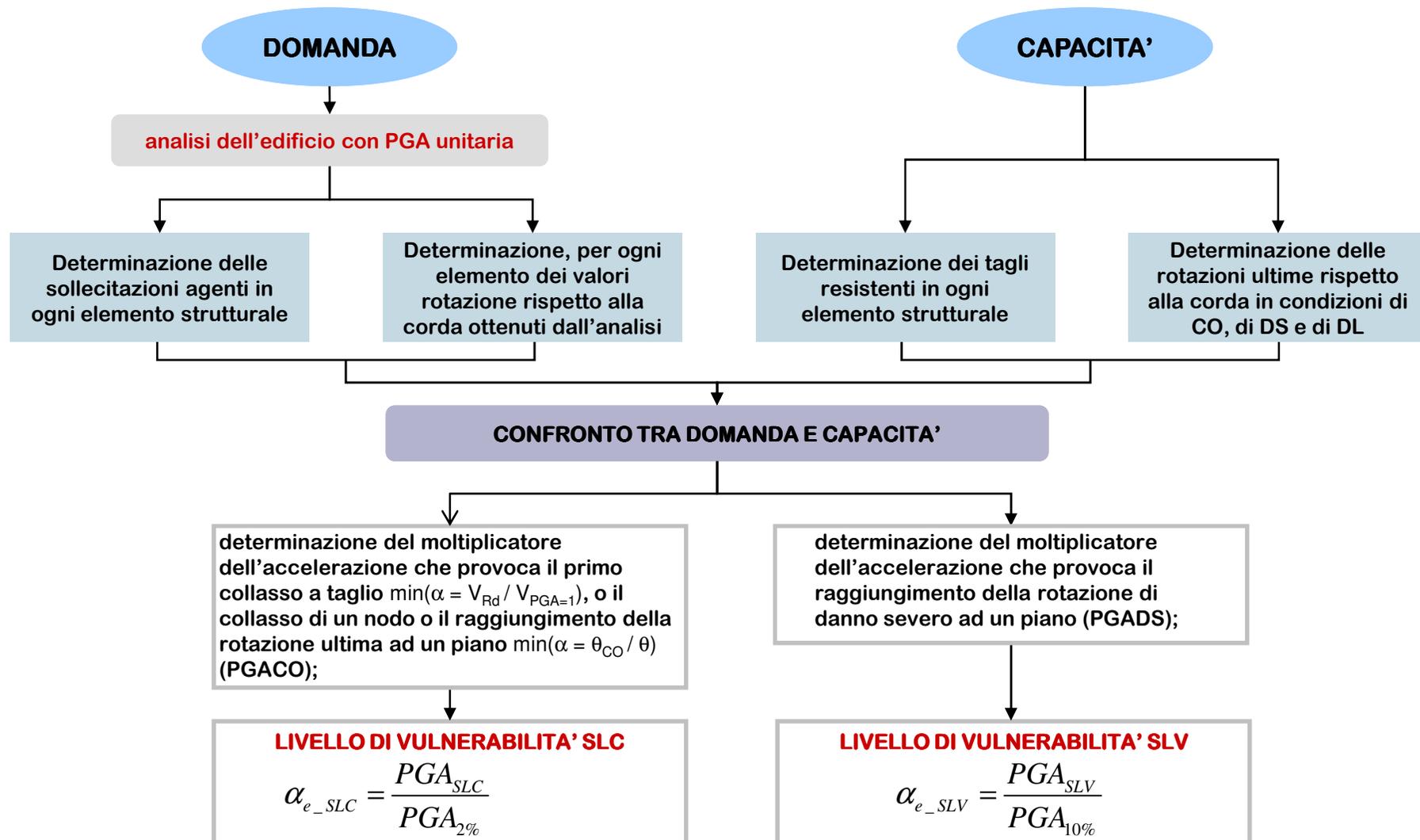
Edifici di interesse strategico

- **Edifici di interesse strategico**
- **Analisi di LIVELLO 1**
- **Analisi di LIVELLO 2**



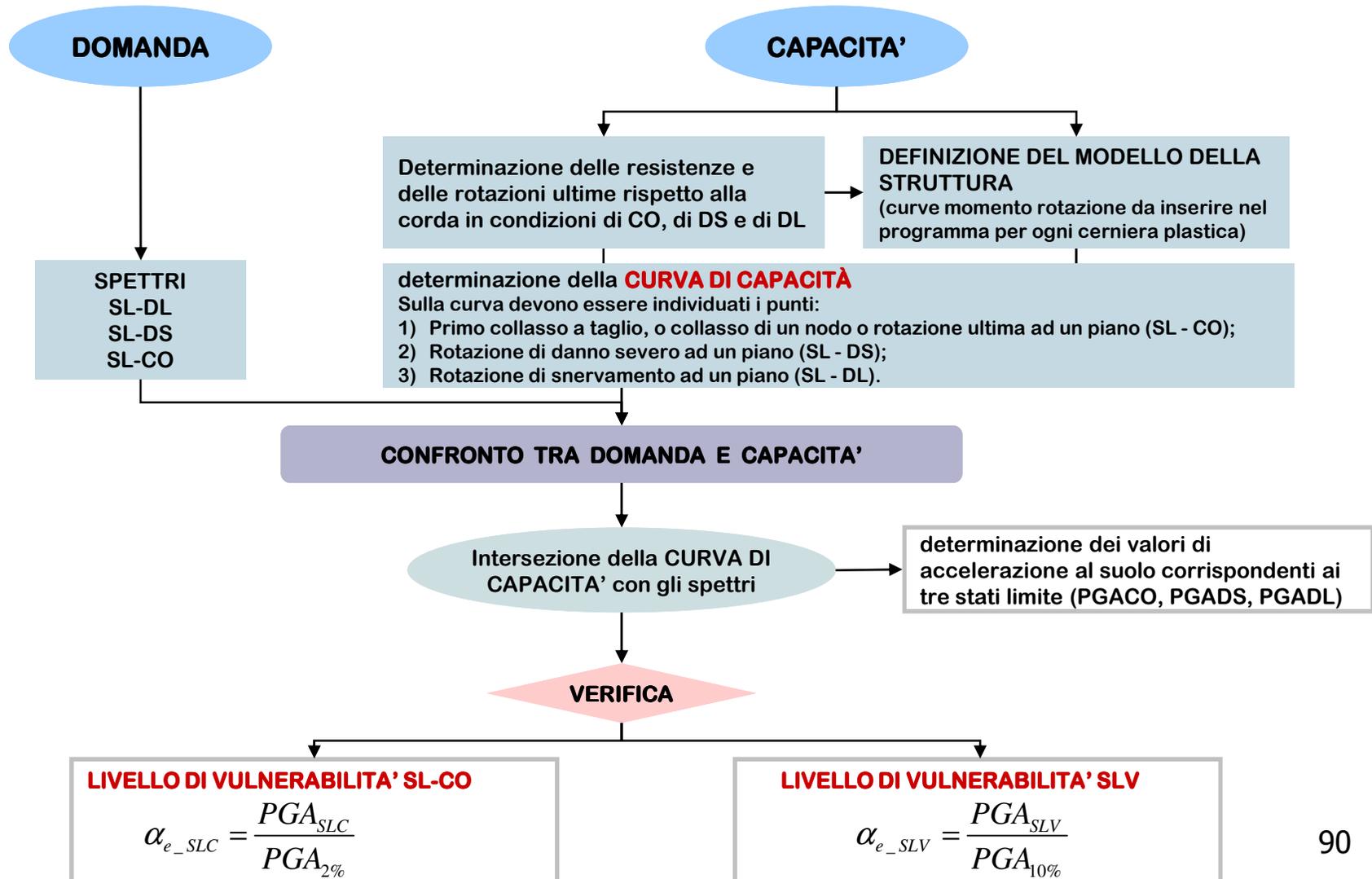
EDIFICI DI INTERESSE STRATEGICO

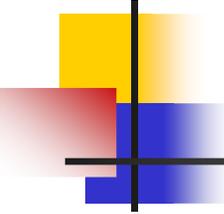
ANALISI LINEARE – ANALISI DI LIVELLO 1



EDIFICI DI INTERESSE STRATEGICO

ANALISI NON LINEARE – ANALISI DI LIVELLO 2





EDIFICI DI INTERESSE STRATEGICO

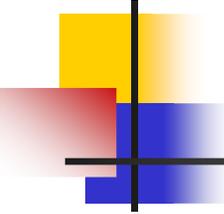
ANALISI DI LIVELLO 1

PRIMO IMPALCATO

- **Meccanismi duttili**
 - Determinazione della domanda (meccanismi duttili)
 - Determinazione della capacità (meccanismi duttili)
 - Confronto tra domanda e capacità
 - Livello di vulnerabilità SL-DS per il primo impalcato

- **Meccanismi fragili**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

- **Nodi Trave - Pilastro**
 - Determinazione della resistenza a trazione e a compressione del nodo
 - Verifica nodi primo impalcato



EDIFICI DI INTERESSE STRATEGICO

ANALISI DI LIVELLO 1

PRIMO IMPALCATO

- **Meccanismi duttili**
 - Determinazione della domanda (meccanismi duttili)
 - Determinazione della capacità (meccanismi duttili)
 - Confronto tra domanda e capacità
 - Livello di vulnerabilità SL-DS per il primo impalcato

- **Meccanismi fragili**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

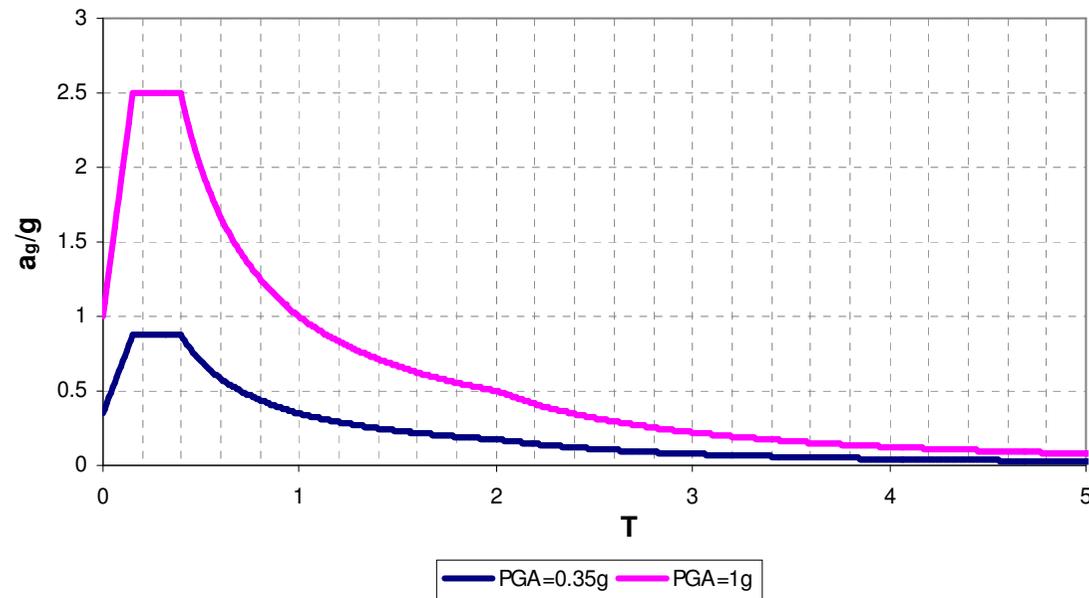
- **Nodi Trave - Pilastro**
 - Determinazione della resistenza a trazione e a compressione del nodo
 - Verifica nodi primo impalcato

DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA

Analisi dell'edificio con $PGA = 1g$ allo SL-DS

L'analisi dell'edificio con PGA unitaria è unicamente rivolta alla determinazione degli spostamenti e delle rotazioni nodali (domanda) che la struttura subisce sotto l'effetto di un sisma con accelerazione al suolo $a_g = 1.00 g$.

SPETTRO ELASTICO SL-DS



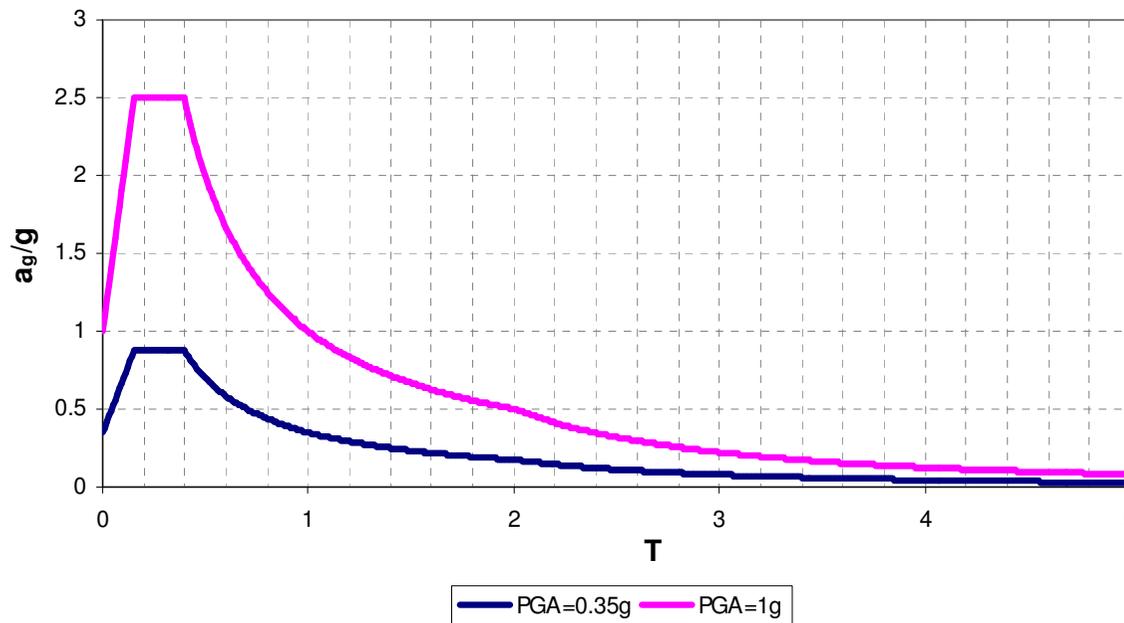
VALUTAZIONE CRITICA DEL PROCEDIMENTO DI VERIFICA DI LIVELLO 1

Analisi dell'edificio con PGA unitaria allo SLV

L'accelerazione "PGA unitaria" deve essere intesa come assegnazione del valore di 1 esclusivamente al valore di a_g , per cui rientrando il terreno in categoria A ($S=1,00$) ed avendo un fattore di importanza pari a 1, l'accelerazione di aggancio allo spettro sarà di

$$1g \times 1,00 \times 1 = 1,00g$$

SPETTRO ELASTICO SL-DS



Poiché $S = 1,00$ non ci sono differenze di risultati, ma se il terreno fosse stato per esempio D ($S=1,35$) la differenza sarebbe stata sostanziale!!!!

VALUTAZIONE CRITICA DEL PROCEDIMENTO DI VERIFICA DI LIVELLO 1

Le valutazioni di vulnerabilità devono portare alla determinazione di un moltiplicatore di accelerazione che provoca il raggiungimento dello Stato Limite desiderato. A tale scopo è necessario procedere come segue:

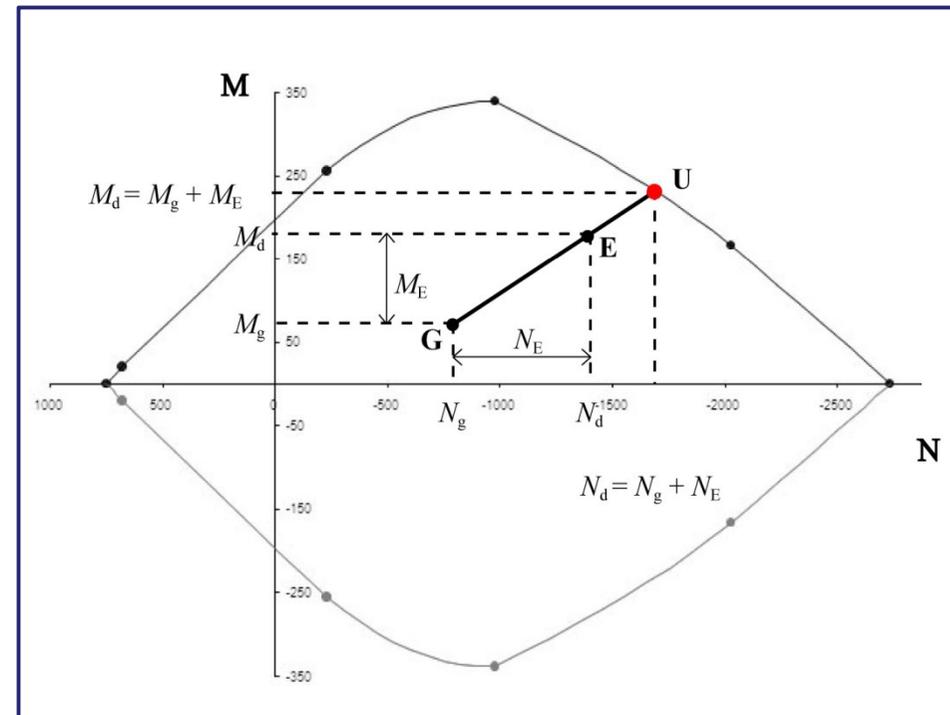
- DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA

- Individuare le sollecitazioni dovute ai soli carichi gravitazionali (N_g , M_g e V_g)
- Individuare le sollecitazioni dovute alle azioni sismiche per una PGA unitaria (N_E , M_E e V_E)

- DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

- Individuare le sollecitazioni ultime (N_u , M_u e V_u)

- DETERMINAZIONE DEL MOLTIPLICATORE α CHE PROVOCA IL RAGGIUNGIMENTO DELLO SL DESIDERATO



$$N_u = N_g + \alpha N_E \Rightarrow \alpha = \frac{N_u - N_g}{N_E}$$

$$M_u = M_g + \alpha M_E \Rightarrow \alpha = \frac{M_u - M_g}{M_E}$$

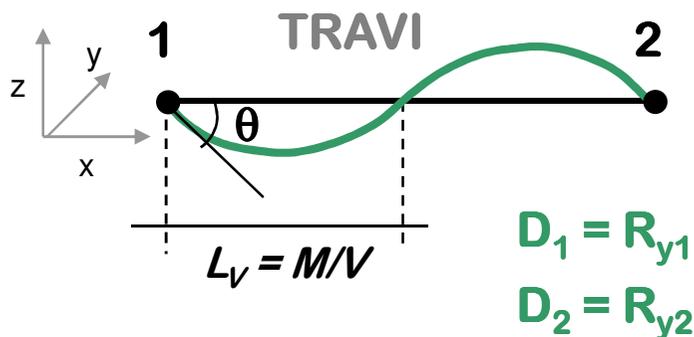
DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA

Meccanismi duttili

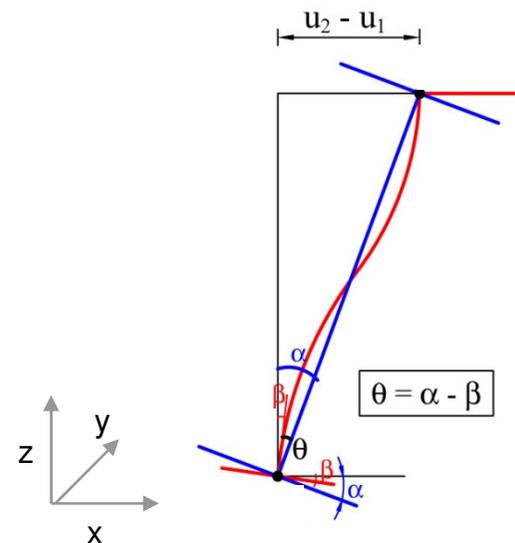
Gli spostamenti e le rotazioni nodali (domanda) che la struttura subisce sotto l'effetto di un sisma con $a_g = 1.00 g$ vengono determinati nel seguente modo:

TRAVI Le rotazioni nodali, possono essere considerate, con sufficiente approssimazione, “rotazioni alla corda”

PILASTRI Le richieste rotazionali sono ricavate attraverso lo spostamento orizzontale del nodo di confronto rapportato all'altezza del pilastro

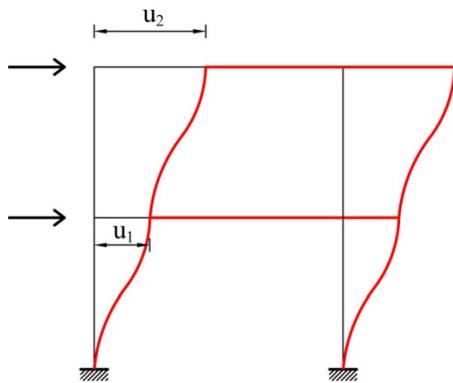


PILASTRI



DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA

Meccanismi duttili



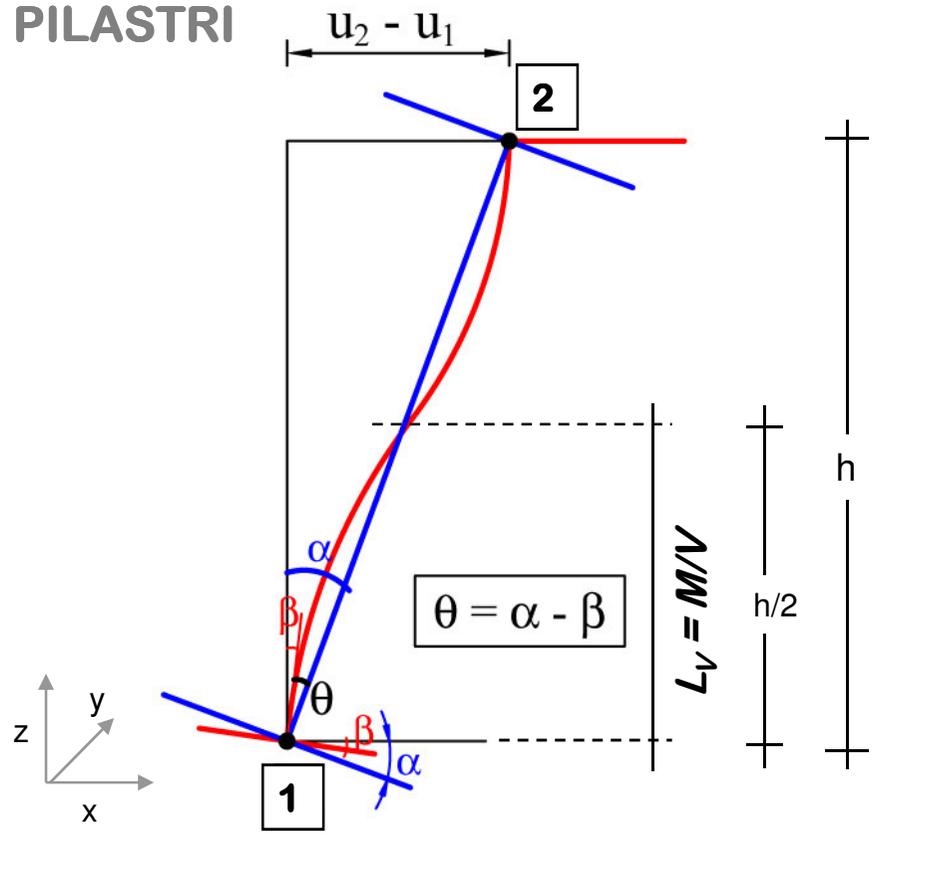
θ = rotazione rispetto alla corda

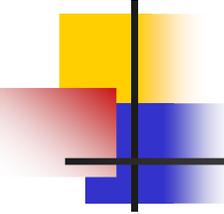
$$\alpha = U/H \quad U_{x2} = u_2 - u_1$$

β = rotazione nodale fornita dal programma di calcolo

$$\theta = \alpha - \beta$$

PILASTRI





EDIFICI DI INTERESSE STRATEGICO

ANALISI DI LIVELLO 1

PRIMO IMPALCATO

- **Meccanismi duttili**
 - Determinazione della domanda (meccanismi duttili)
 - Determinazione della capacità (meccanismi duttili)
 - Confronto tra domanda e capacità
 - Livello di vulnerabilità SL-DS per il primo impalcato

- **Meccanismi fragili**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

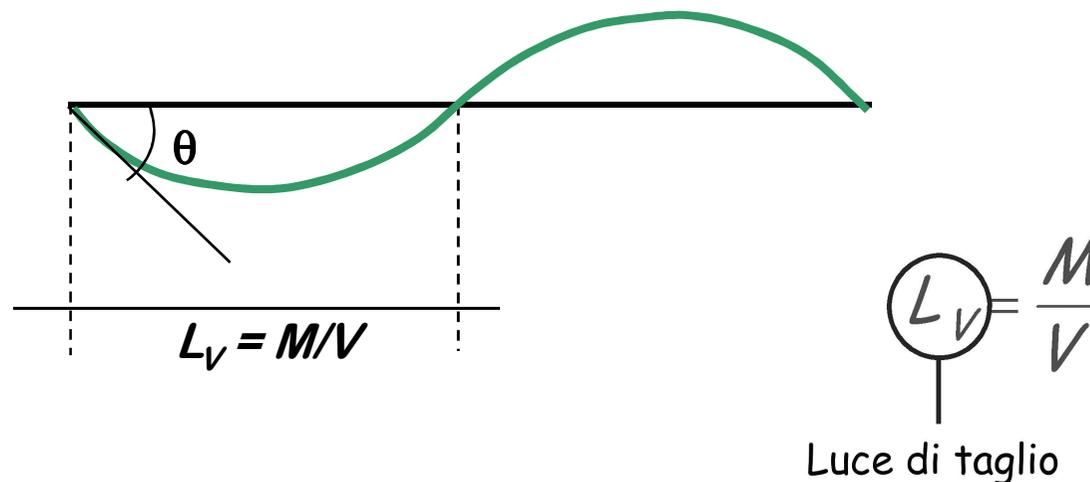
- **Nodi Trave - Pilastro**
 - Determinazione della resistenza a trazione e a compressione del nodo
 - Verifica nodi primo impalcato

DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

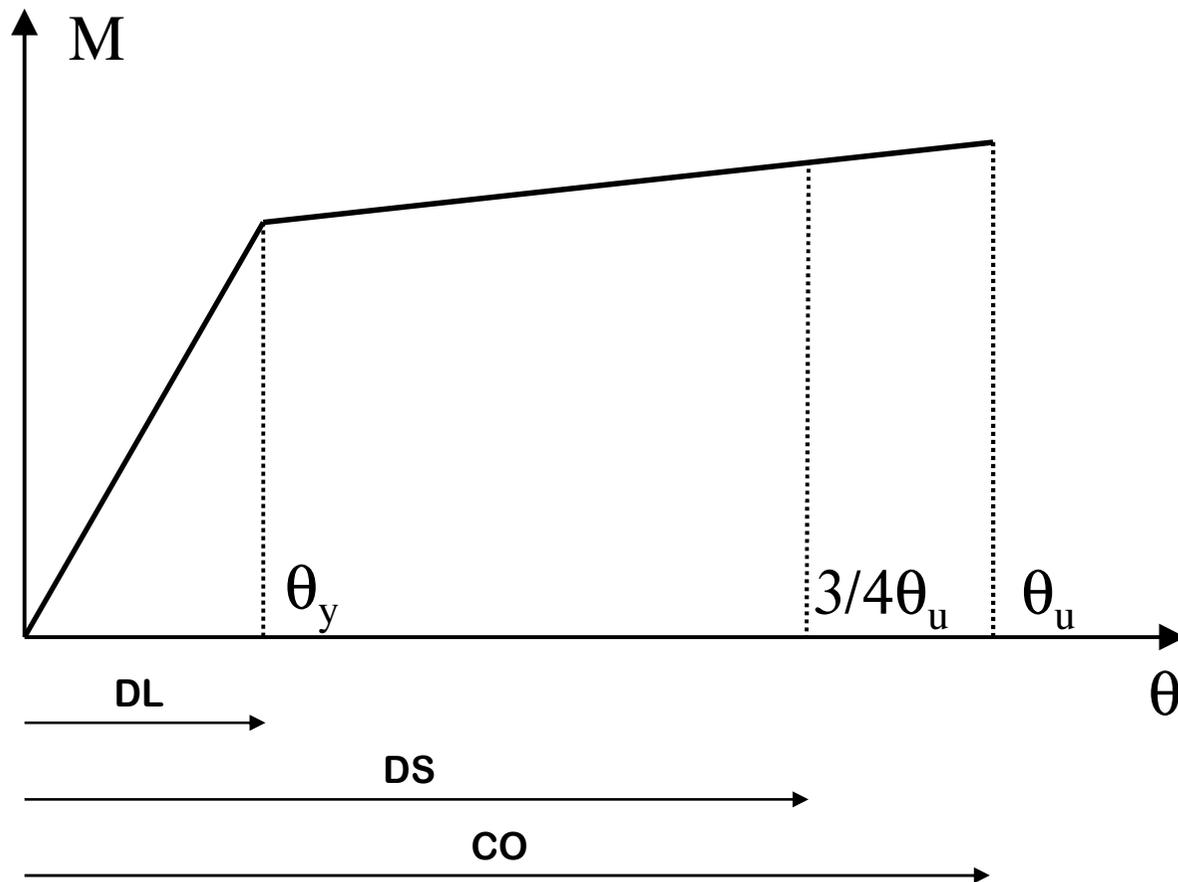
C8.7.2.5 Travi, pilastri e pareti: flessione con e senza sforzo normale

La capacità deformativa di travi e pilastri è definita con riferimento alla rotazione θ della sezione d'estremità rispetto alla congiungente quest'ultima con la sezione di momento nullo ("rotazione rispetto alla corda") a distanza pari alla luce di taglio $L_V = M/V$



DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili



DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

C8.7.2.5 Travi, pilastri e pareti: flessione con e senza sforzo normale

$$\text{SLV} \quad \theta_{\text{SLV}} = \frac{3}{4} \theta_u$$

NTC 2008; C8A.6.1

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

NTC 2008; C8A.6.5

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5 L_{pl}}{L_v} \right) \right)$$

- Negli elementi non dotati di adeguati dettagli di tipo antisismico il valore dato dall'espressione (C8A.6.1) deve essere moltiplicato per 0.85;
- Per le pareti il valore dato dall'espressione (C8A.6.1) deve essere diviso per 1.6.

DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

C8.7.2.5 Travi, pilastri e pareti: flessione con e senza sforzo normale

$$\text{SLV} \quad \theta_{\text{SLV}} = \frac{3}{4} \theta_u$$

OPCM 3431; 11.A.1

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.016 \cdot (0.3^v) \left[\frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} f_c \right]^{0.225} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0.35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.25^{100 \rho_d}) \quad \Rightarrow \quad \text{Formula 1}$$

NTC 2008; C8A.6.5

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5 L_{pl}}{L_v} \right) \right) \quad \Rightarrow$$

OPCM 3431; C8A.6.6

Formula 2.1

$$L_{pl} = 0.1 L_v + 0.17 h + 0.24 \frac{d_{bL} f_y}{\sqrt{f_c}}$$

FARDIS, 2005

Formula 2.2

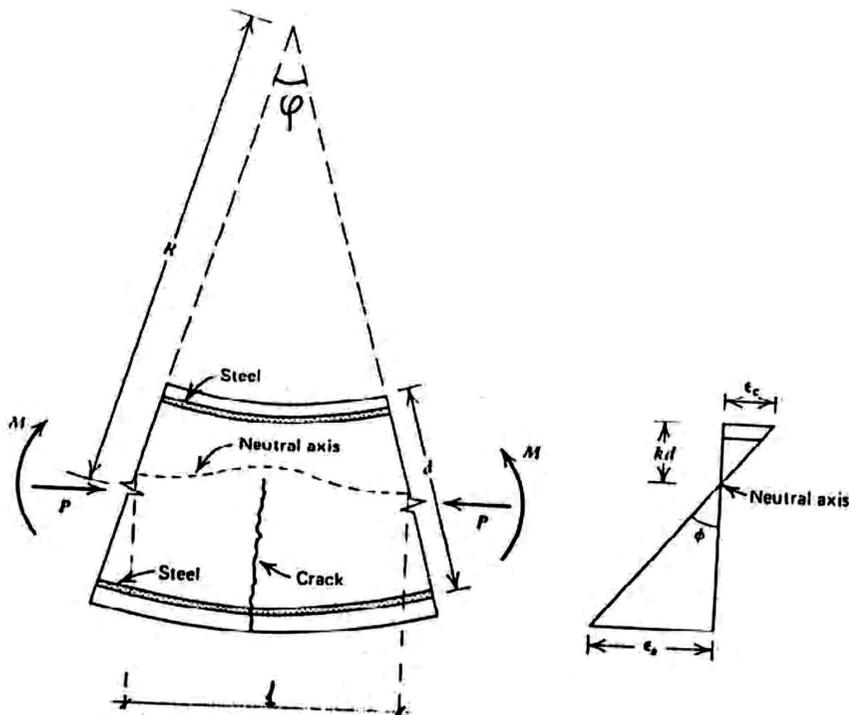
$$L_{pl} = \frac{L_v}{30} + 0.02 h + 0.11 \frac{d_{bL} f_y}{\sqrt{f_c}}$$

L_{pl} = Lunghezza della cerniera plastica

DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

Determinazione della curvatura a snervamento



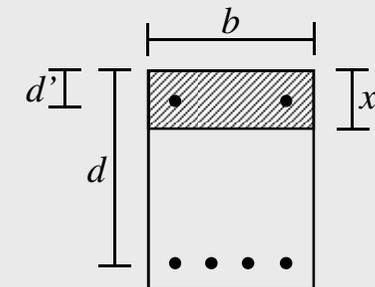
ASSE NEUTRO

$$\frac{1}{2} E_c \cdot \epsilon_c \cdot b \cdot x + A'_s \cdot E_s \cdot \epsilon_c \frac{(x - d')}{x} = E_s \cdot \epsilon_{syd} \cdot A_s$$

DEFORMAZIONE DEL CLS

Hp:
Acciaio allo
snervamento

$$\epsilon_c = \frac{x}{d - x} \cdot \epsilon_{syd}$$

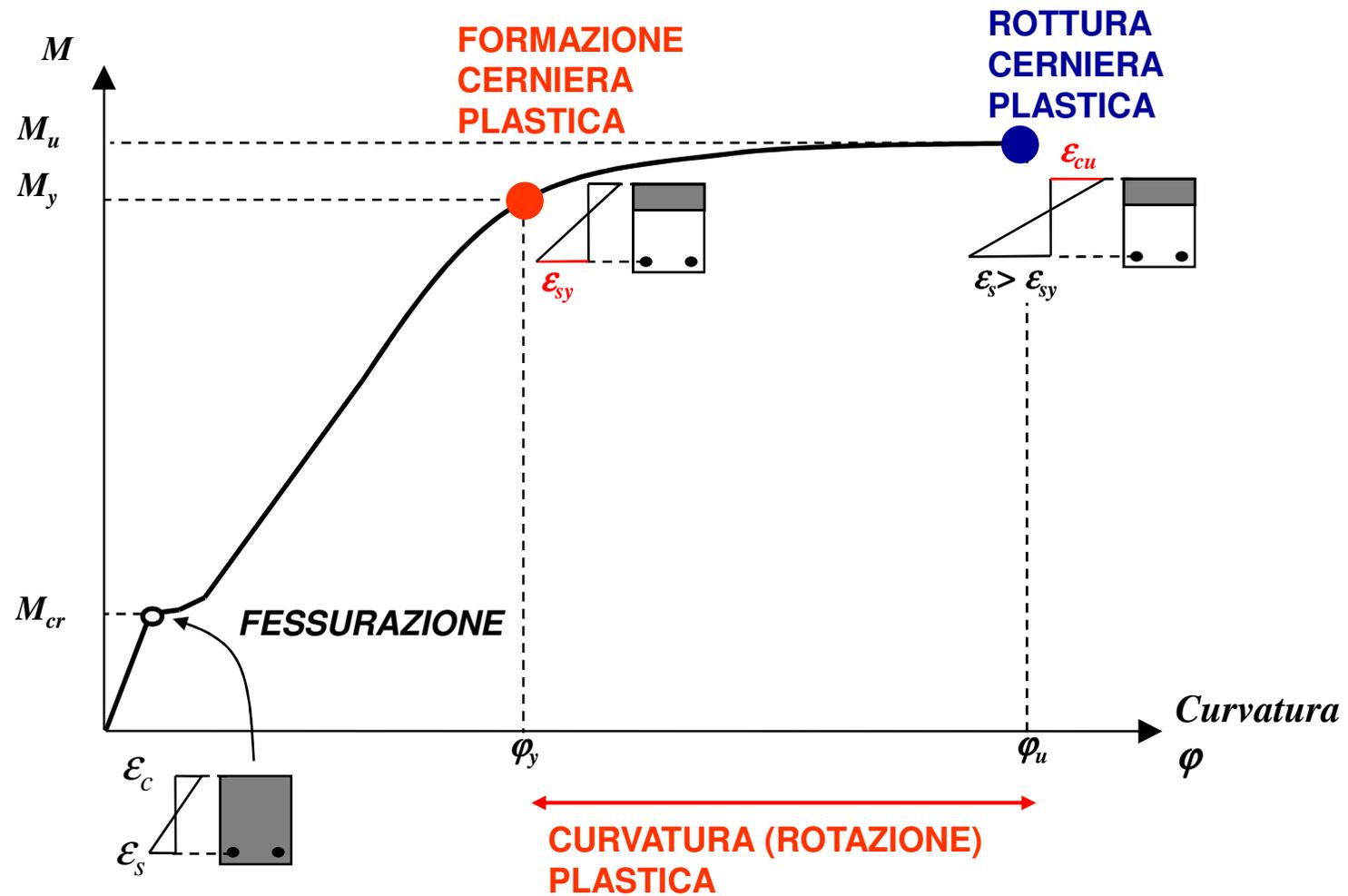


CURVATURA A SVERNAMENTO

$$\phi_y = \frac{\epsilon_c}{x}$$

DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili: trave



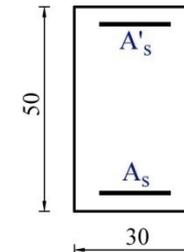
IL COMPORTAMENTO FLESSIONALE DELLE TRAVI

NTC 2008; 7.4.6.2.1 Armature longitudinali

SEZIONE IN c.a.

a debole
armatura

$$\rho < \frac{1,4}{f_{yk}}$$

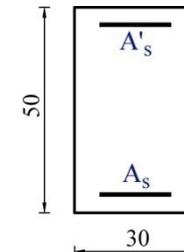


$$A_s = 2 \phi 10$$

$$A'_s = 0$$

a media
armatura

$$\frac{1,4}{f_{yk}} < \rho < \rho_{comp} + \frac{3,5}{f_{yk}}$$

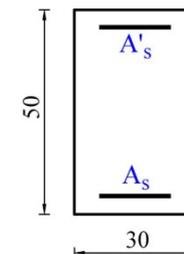


$$A_s = 4 \phi 14$$

$$A'_s = 0$$

a forte
armatura

$$\rho > \rho_{comp} + \frac{3,5}{f_{yk}}$$



$$A_s = 10 \phi 20$$

$$A'_s = 0$$

ρ

è il rapporto geometrico di armatura = $A_s/(bh)$ oppure $A'_i/(bh)$

ρ_{comp}

è il rapporto geometrico di armatura relativo all'armatura compressa

A_s e A'_i

rappresentano l'area dell'armatura longitudinale, rispettivamente superiore e inferiore

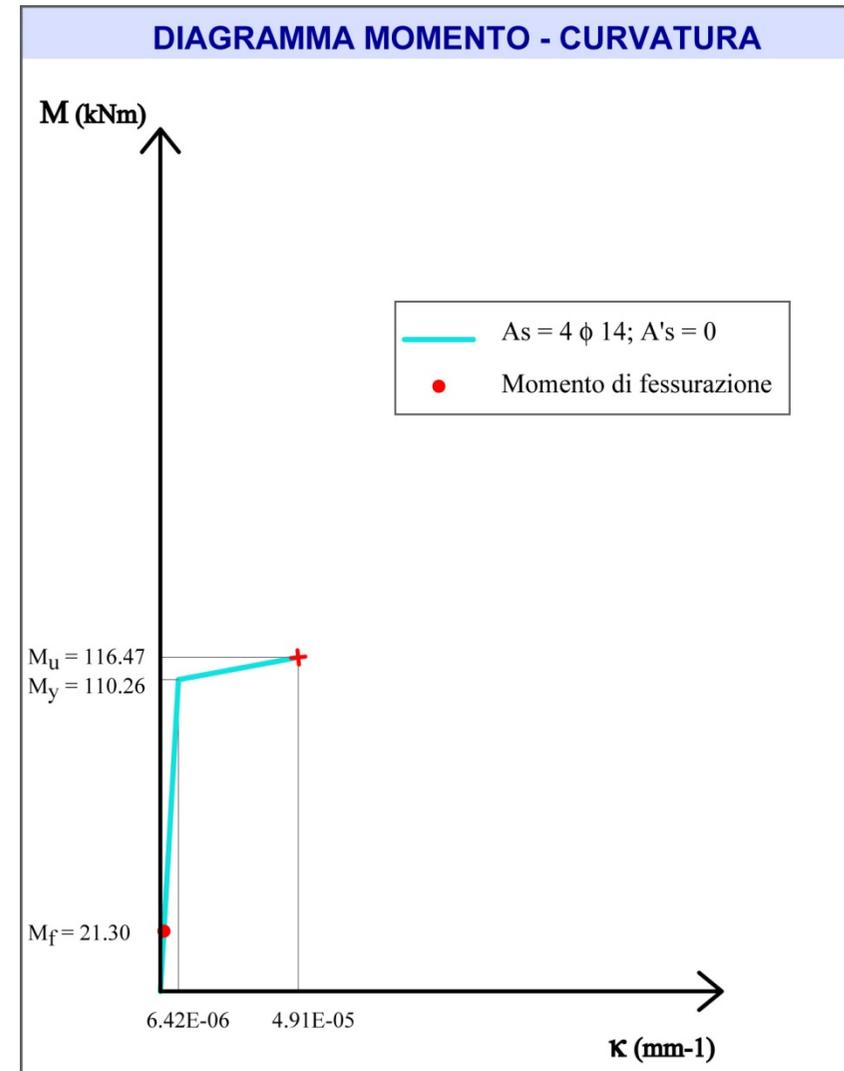
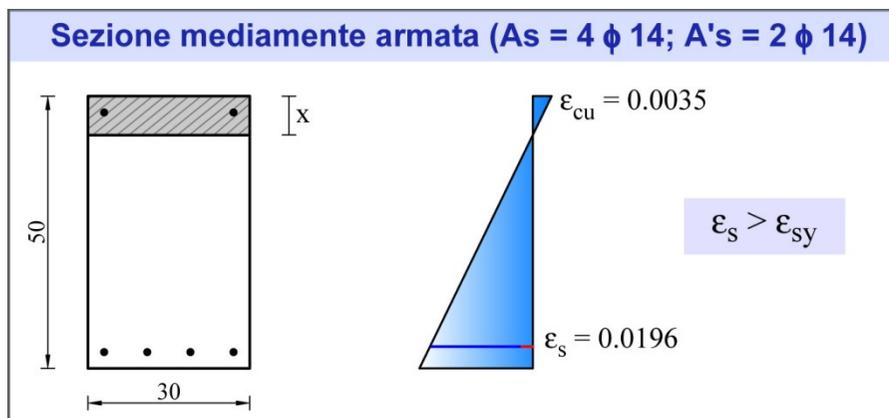
f_{yk}

è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio (in N/mm²)

IL COMPORTAMENTO FLESSIONALE DELLE TRAVI

NTC 2008; 7.4.6.2.1 Armature longitudinali $\frac{1,4}{f_{yk}} < \rho < \rho_{comp} + \frac{3,5}{f_{yk}}$	$(1.4 / f_y)$	0.00326
	$(\rho_{comp} + 3.5 / f_y)$	0.00814
	ρ	0.00411
	ρ_{comp}	0

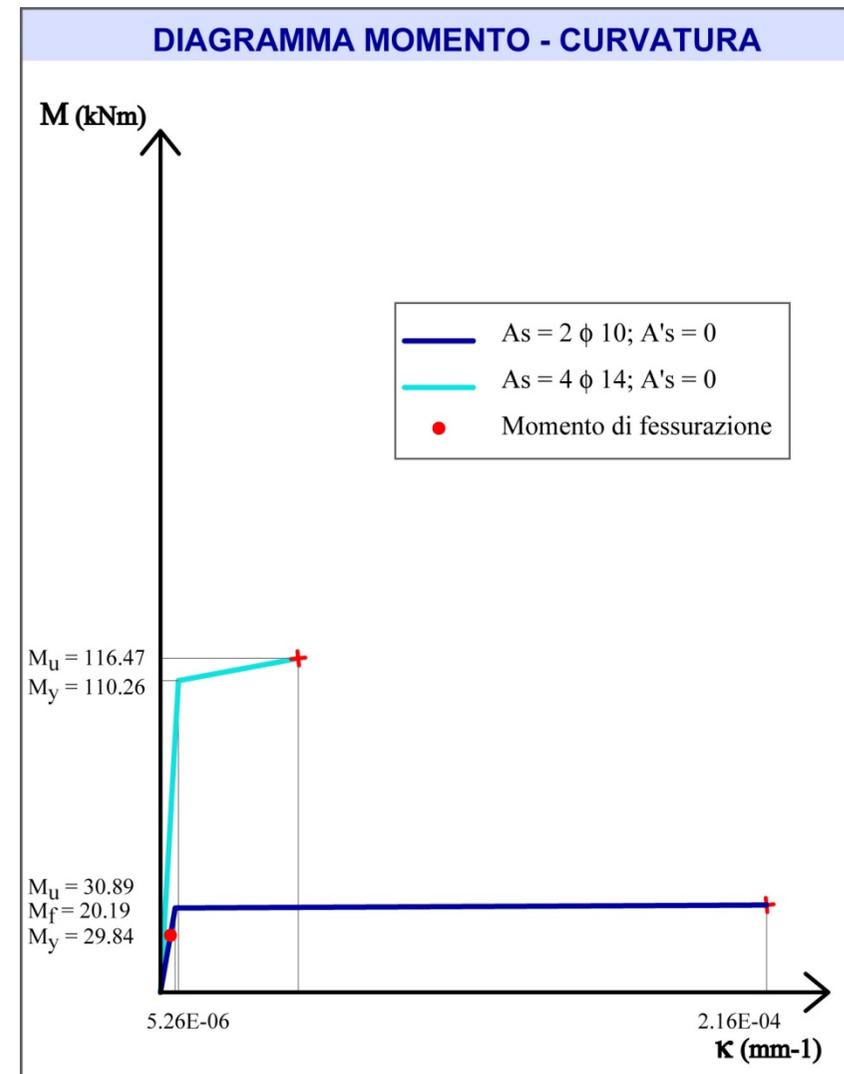
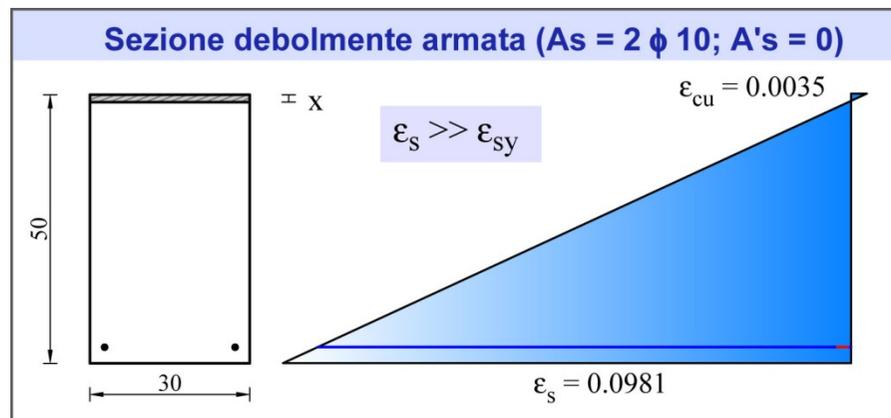
Armatura		M_y	M_u	M_f	κ_y	κ_u	ϵ_c	ϵ_s
A_s	A'_s	kNm	kNm	kNm	mm ⁻¹	mm ⁻¹		
4 ϕ 14	0	110.26	116.47	21.30	6.4E-06	4.9E-05	-0.0035	0.0196
2 ϕ 10	0	29.84	30.89	20.19	5.3E-06	2.2E-04	-0.0035	0.0981
10 ϕ 20	0		393.83	25.11		1.1E-05	-0.0035	0.0017



IL COMPORTAMENTO FLESSIONALE DELLE TRAVI

NTC 2008; 7.4.6.2.1 Armature longitudinali $\rho < \frac{1,4}{f_{yk}}$	$(1.4 / f_y)$	0.00326
	$(\rho_{comp} + 3.5 / f_y)$	0.00814
	ρ	0.00105
	ρ'	0

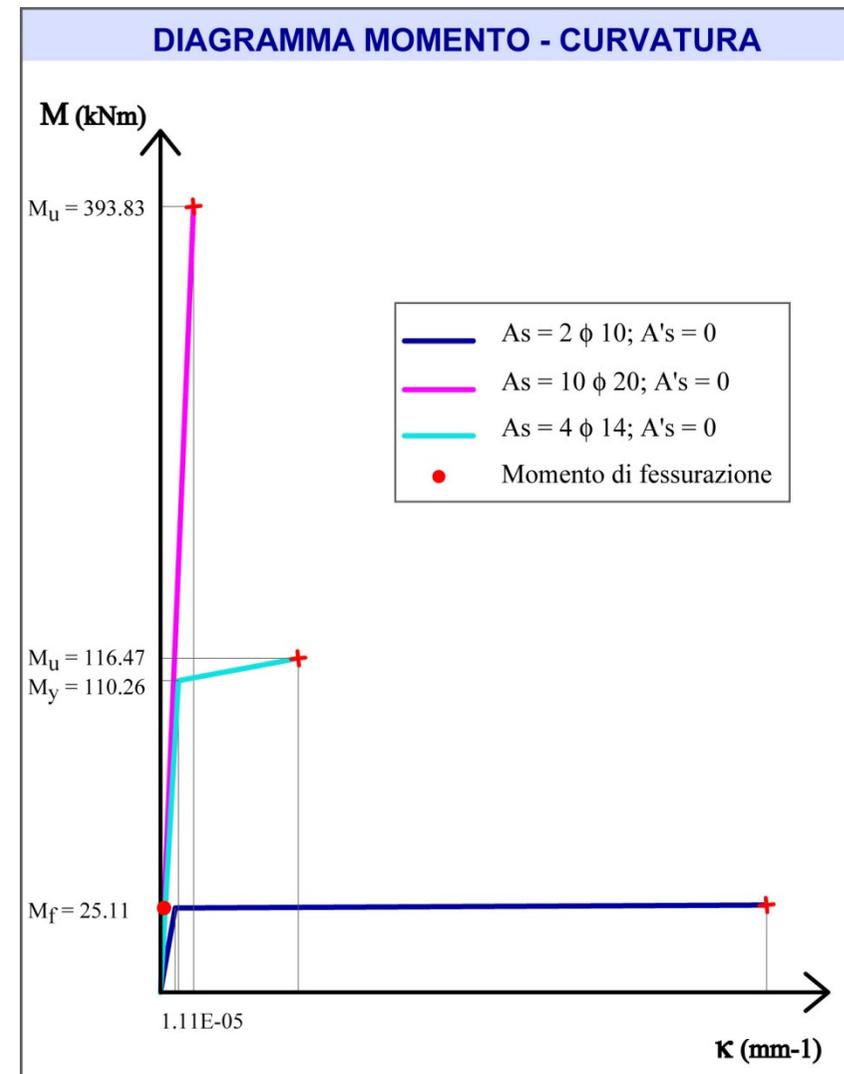
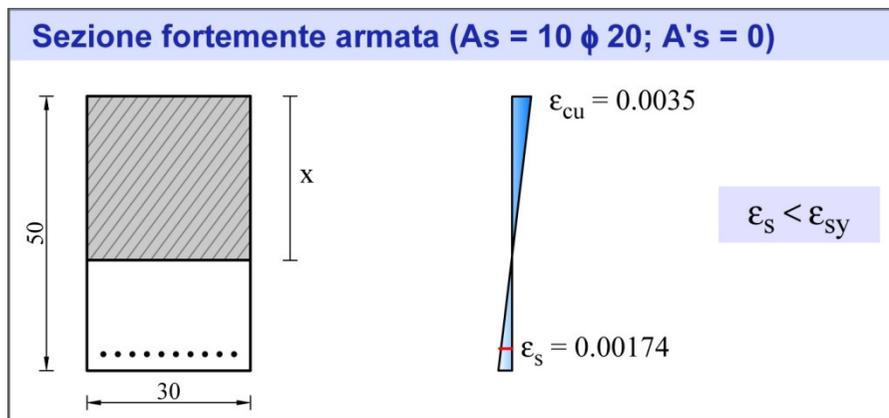
Armatura		M_y	M_u	M_f	κ_y	κ_u	ϵ_c	ϵ_s
A_s	A'_s	kNm	kNm	kNm	mm ⁻¹	mm ⁻¹		
4 ϕ 14	0	110.26	116.47	21.30	6.4E-06	4.9E-05	-0.0035	0.0196
2 ϕ 10	0	29.84	30.89	20.19	5.3E-06	2.2E-04	-0.0035	0.0981
10 ϕ 20	0		393.83	25.11		1.1E-05	-0.0035	0.0017



IL COMPORTAMENTO FLESSIONALE DELLE TRAVI

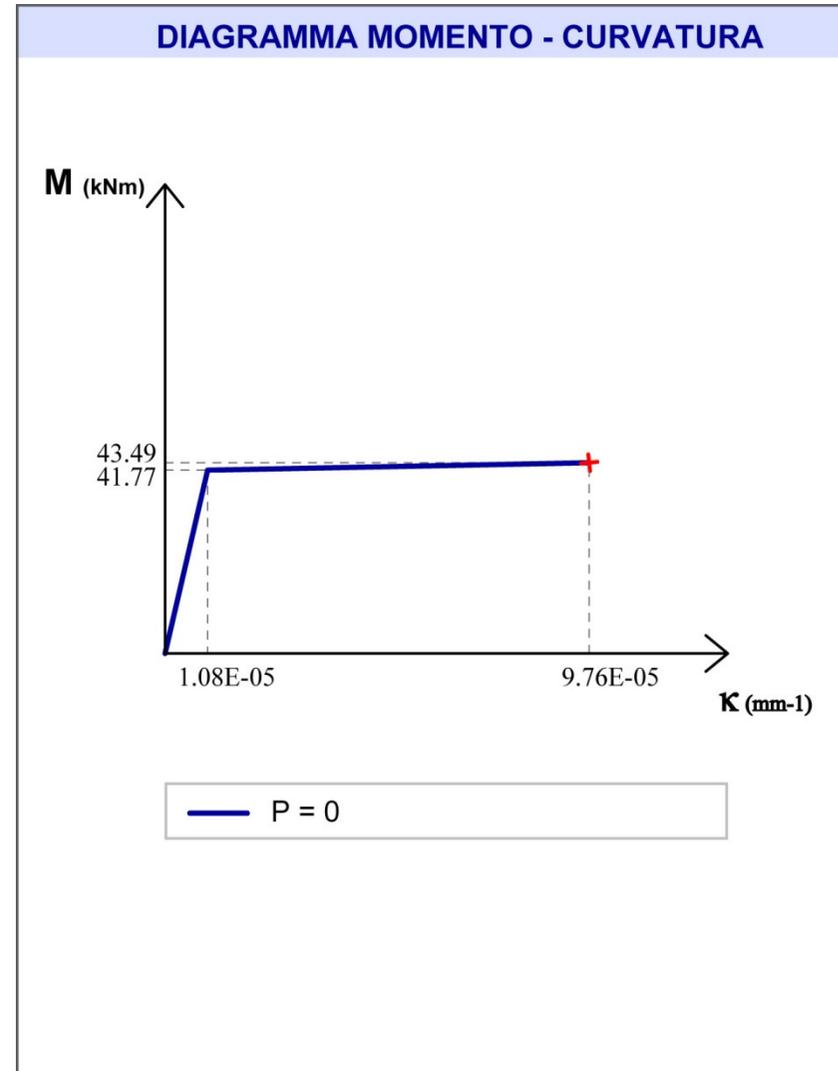
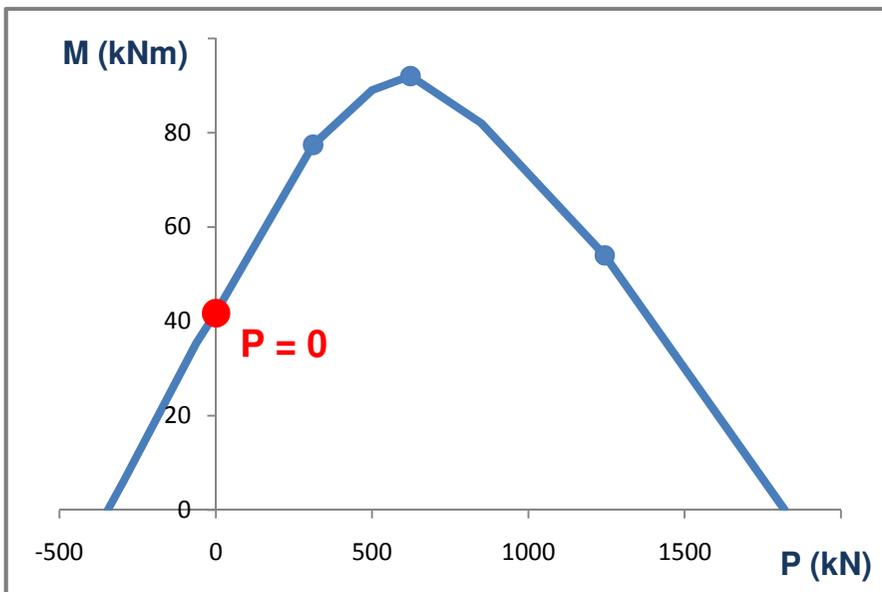
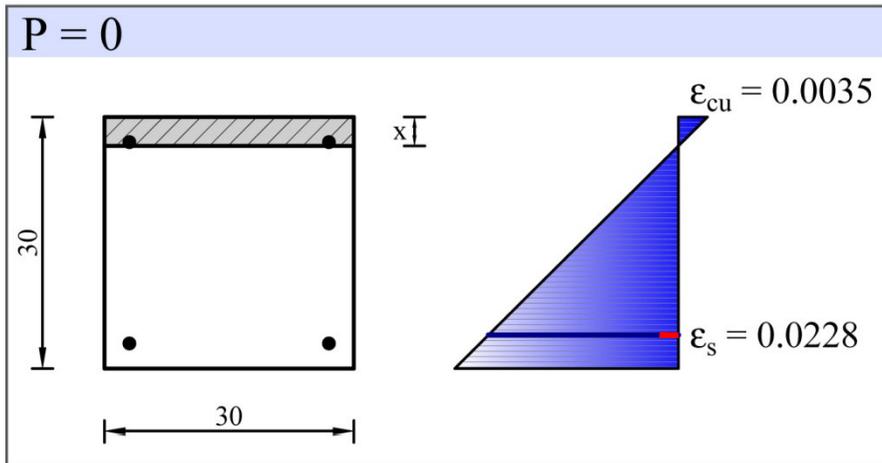
<p>NTC 2008; 7.4.6.2.1 Armature longitudinali</p> $\rho > \rho_{comp} + \frac{3,5}{f_{yk}}$	$(1.4 / f_y)$	0.00326
	$(\rho_{comp} + 3.5 / f_y)$	0.00814
	ρ	0.02093
	ρ'	0

Armatura		M_y	M_u	M_f	κ_y	κ_u	ϵ_c	ϵ_s
A_s	A'_s	kNm	kNm	kNm	mm ⁻¹	mm ⁻¹		
4 ϕ 14	0	110.26	116.47	21.30	6.4E-06	4.9E-05	-0.0035	0.0196
2 ϕ 10	0	29.84	30.89	20.19	5.3E-06	2.2E-04	-0.0035	0.0981
10 ϕ 20	0		393.83	25.11		1.1E-05	-0.0035	0.0017



DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Pilastri: meccanismi di rottura



DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Pilastri: meccanismi di rottura

$P = 0.5 P \text{ bilanciato} = 311.0 \text{ kN}$

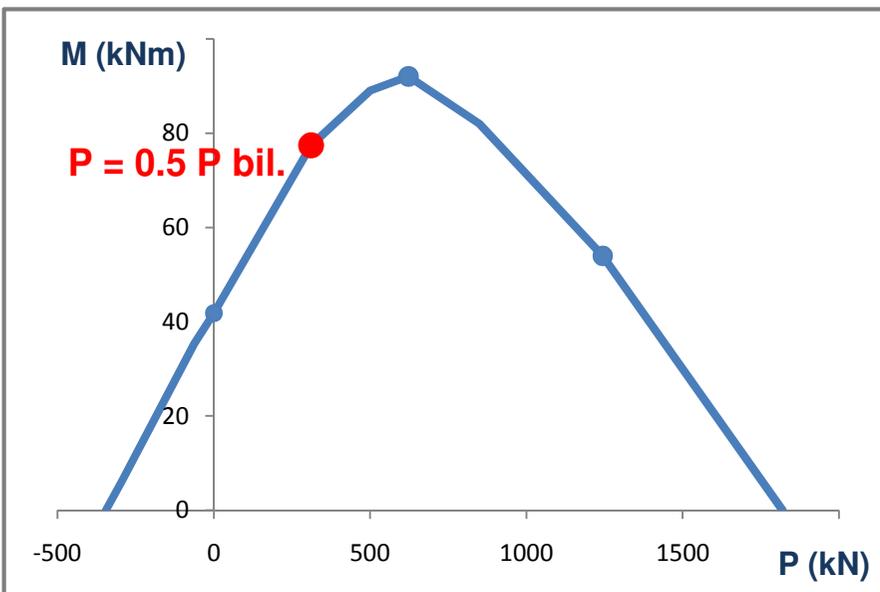
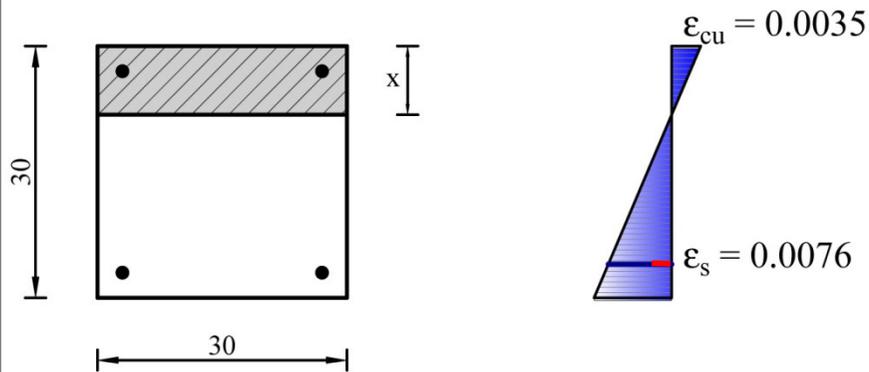
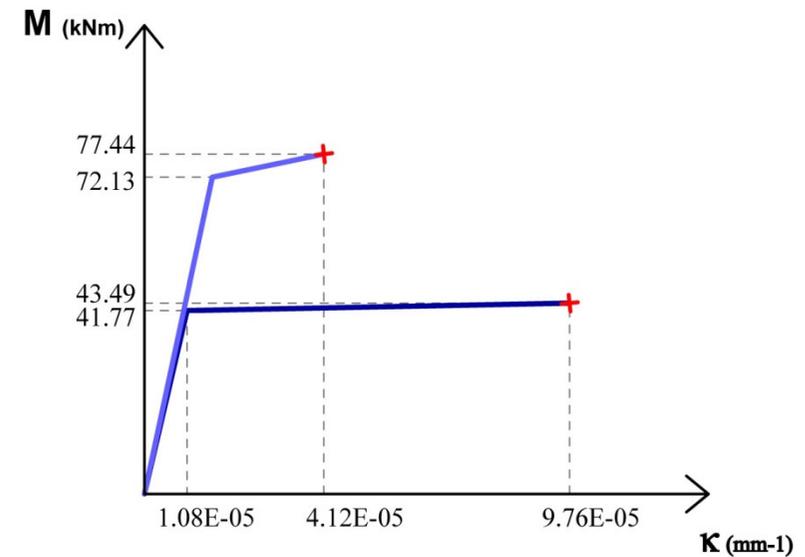


DIAGRAMMA MOMENTO - CURVATURA



DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Pilastri: meccanismi di rottura

$P = P_{\text{bilanciato}} = 622.5 \text{ kN}$

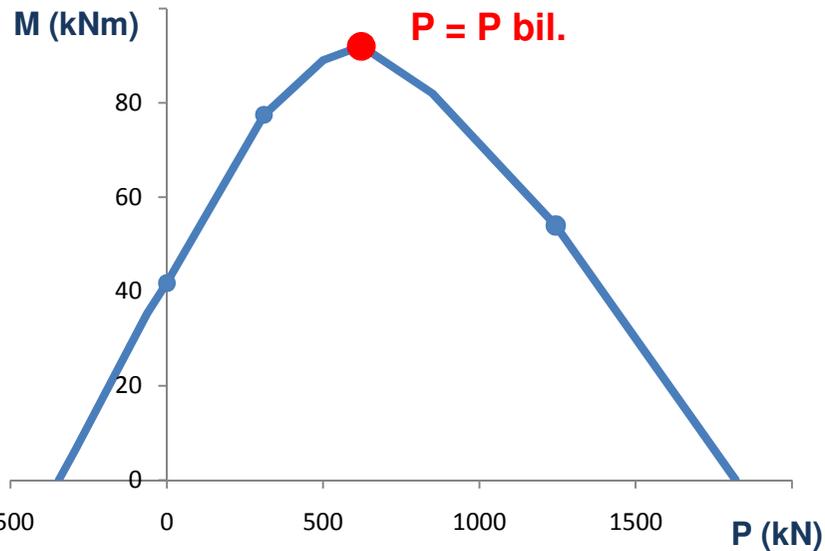
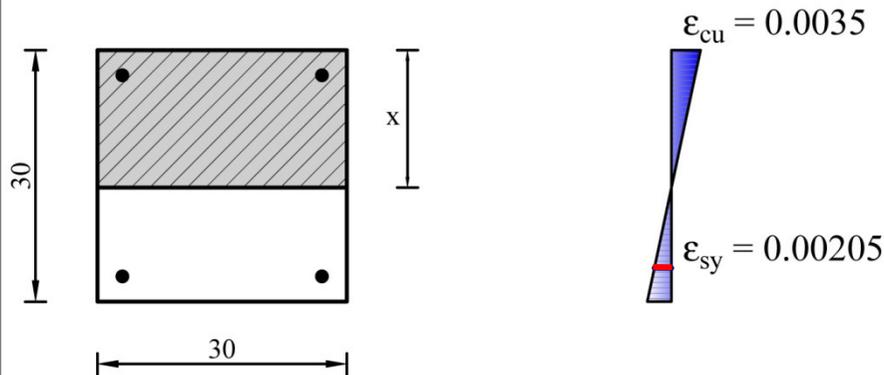
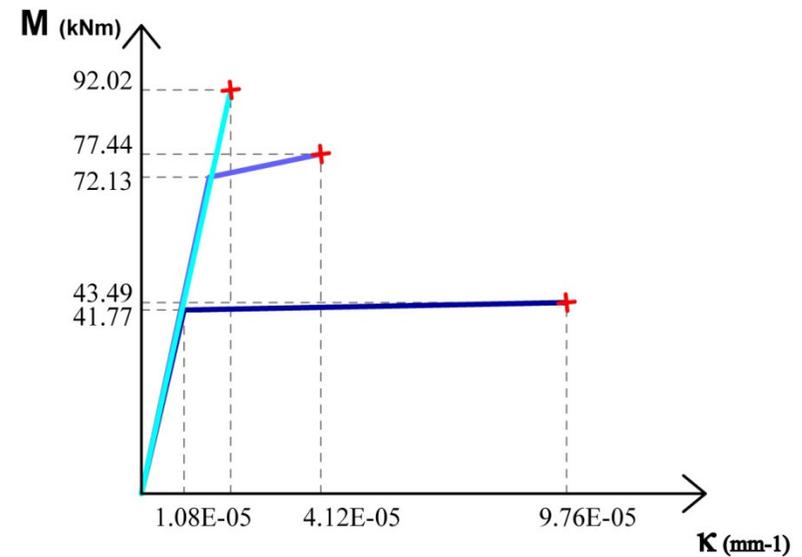


DIAGRAMMA MOMENTO - CURVATURA



- $P = 0$
- $P = 0.5 P_{\text{bilanciato}} = 311 \text{ kN}$
- $P = P_{\text{bilanciato}} = 622.5 \text{ kN}$

DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Pilastri: meccanismi di rottura

$P = 2 P \text{ bilanciato} = 1244.0 \text{ kN}$

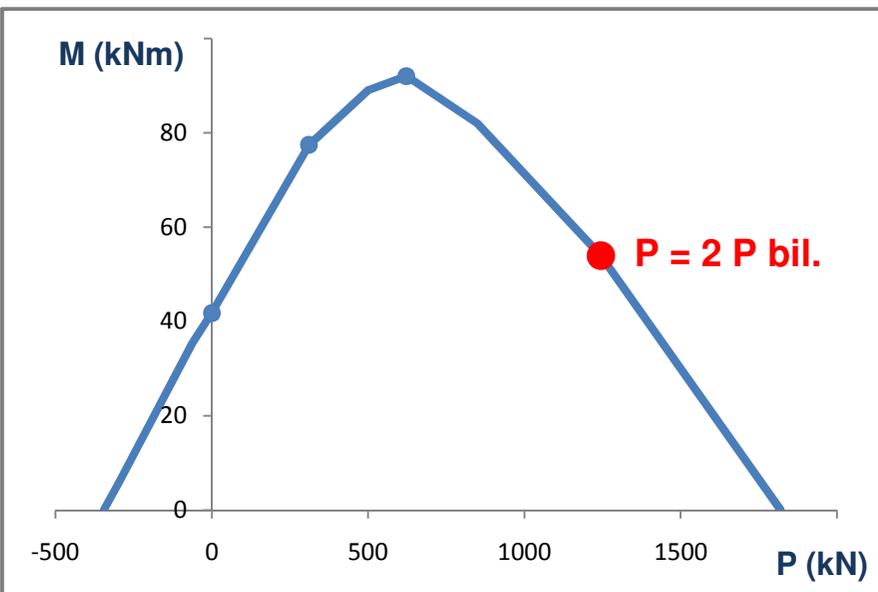
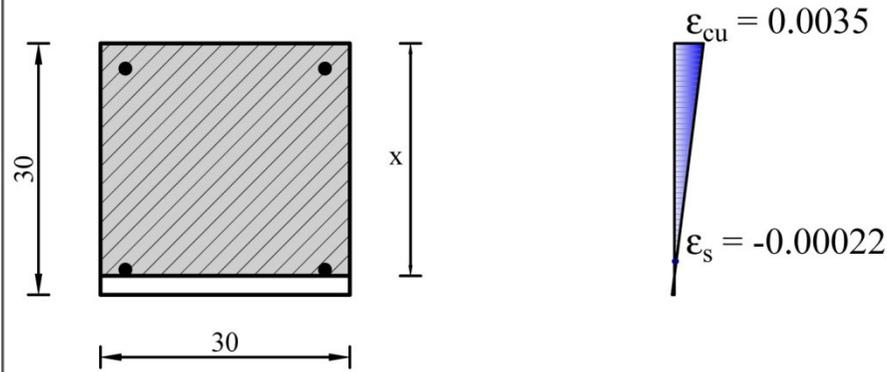
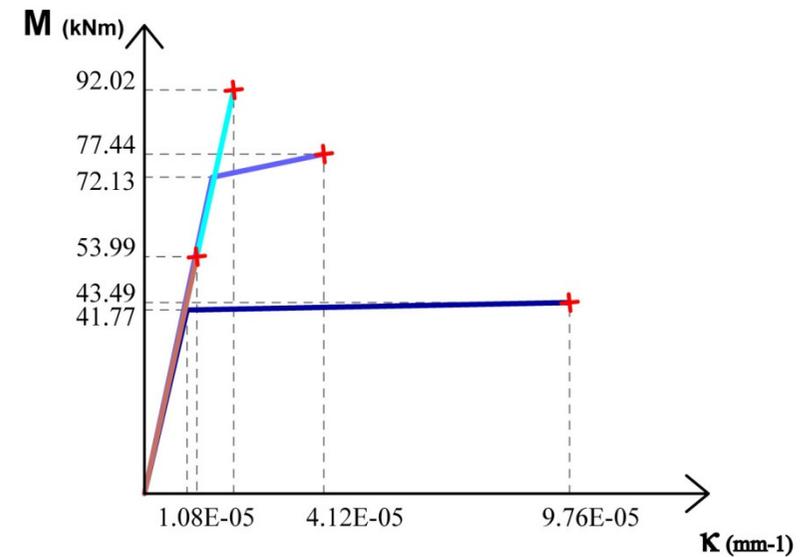


DIAGRAMMA MOMENTO - CURVATURA



- $P = 0$
- $P = 0.5 P \text{ bilanciato} = 311 \text{ kN}$
- $P = P \text{ bilanciato} = 622.5 \text{ kN}$
- $P = 2 P \text{ bilanciato} = 1244 \text{ kN}$

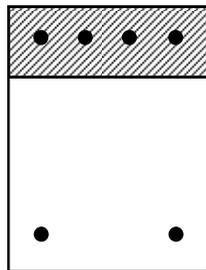
DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

TRAVI: Valutazione delle rotazioni di collasso (capacità)

Formula 1:
$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.016 \cdot (0.3^v) \left[\frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} f_c \right]^{0.225} \left(\frac{L_V}{h} \right)^{0.35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.25^{100 \rho_d})$$

Armatura tesa inferiore



TRAVE T14

CAPACITA' DI ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA IN CONDIZIONI DI COLLASO							
DATI MATERIALI							
γ_{el}	f_{cm} N/mm ²	f_{ym} N/mm ²	f_{ywm} N/mm ²	FC	f_{cdm} (N/mm ²)	f_{ydm} N/mm ²	f_{ywdm} N/mm ²
1.5	15.81	430	430	1	15.81	430	430
DATI GEOMETRICI		LUCE DI TAGLIO		ARMATURA LONGITUDINALE			
h (mm)	b (mm)	L (mm)	L_V (mm)	A_s mm ²	A'_s mm ²	ω	ω'
500	300	3450	1725	308	616	0.05584651	0.11169302
STAFFE				ARMATURE DIAGONALI			
interasse	area	larghezza dell'anima	% armatura trasversale	distanza	area	larghezza dell'anima	% armatura diagonale
s_h (mm)	A_{sx} (mm ²)	b_w (mm)	ρ_{sx}	$s_{h_diagonali}$ (mm)	A_{sx} (mm ²)	b_w (mm)	ρ_d
200	56	300	0.00093333	500	308	300	0.00205333
SFORZO ASSIALE NORMALIZZATO			FATTORE DI EFFICIENZA DEL CONFINAMENTO				
N (N)	A_c (mm ²)	ν	b_0 (mm)	h_0 (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	α
0	150000	0	254	454	66	66	0.43
			b_3 (mm)	b_4 (mm)	b_5 (mm)	b_6 (mm)	
			66	226	0	0	

θ_u (rad) 0.03298

θ_{DS} (rad) **0.02474**

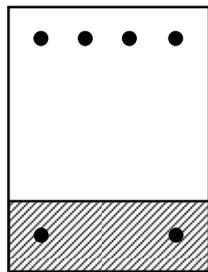
DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

TRAVI: Valutazione delle rotazioni di collasso (capacità)

Formula 1:
$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.016 \cdot (0.3^v) \left[\frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} f_c \right]^{0.225} \left(\frac{L_V}{h} \right)^{0.35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.25^{100 \rho_d})$$

Armatura tesa superiore



TRAVE T14

CAPACITA' DI ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA IN CONDIZIONI DI COLLASO							
DATI MATERIALI							
γ_{el}	f_{cm} N/mm ²	f_{ym} N/mm ²	f_{ywm} N/mm ²	FC	f_{cdm} (N/mm ²)	f_{ydm} N/mm ²	f_{ywdm} N/mm ²
1.5	15.81	430	430	1	15.81	430	430
DATI GEOMETRICI		LUCE DI TAGLIO		ARMATURA LONGITUDINALE			
h (mm)	b (mm)	L (mm)	L_V (mm)	A_s mm ²	A'_s mm ²	ω	ω'
500	300	3450	1725	616	308	0.11169302	0.05584651
STAFFE				ARMATURE DIAGONALI			
interasse	area	larghezza dell'anima	% armatura trasversale	distanza	area	larghezza dell'anima	% armatura diagonale
s_h (mm)	A_{sx} (mm ²)	b_w (mm)	ρ_{sx}	$s_{h_diagonali}$ (mm)	A_{sx} (mm ²)	b_w (mm)	ρ_d
200	56	300	0.00093333	500	308	300	0.00205333
SFORZO ASSIALE NORMALIZZATO			FATTORE DI EFFICIENZA DEL CONFINAMENTO				
N (N)	A_c (mm ²)	ν	b_0 (mm)	h_0 (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	α
0	150000	0	254	454	66	66	0.43
			b_3 (mm)	b_4 (mm)	b_5 (mm)	b_6 (mm)	
			66	226	0	0	

θ_u (rad) 0.02414

θ_{DS} (rad) **0.01811**

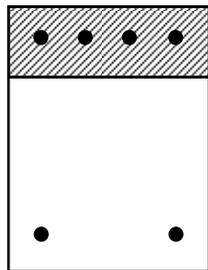
DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

TRAVI: Valutazione delle rotazioni di collasso (capacità)

Formula 2.1:
$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5L_{pl}}{L_v} \right) \right) \xrightarrow{\text{OPCM 3431}} L_{pl} = 0.1L_v + 0.17h + 0.24 \frac{d_{bL} f_y}{\sqrt{f_c}}$$

Armatura tesa inferiore



TRAVE T14

CAPACITA' DI ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA							
DATI MATERIALI							
γ_{el}	f_{cm}	f_{ym}	f_{ywm}	FC	f_{cdm}	f_{ydm}	f_{ywdm}
1.5	N/mm ² 15.81	N/mm ² 430	N/mm ² 430	1	N/mm ² 15.81	N/mm ² 430	N/mm ² 430
DATI MATERIALI		DATI GEOMETRICI SEZIONE			LUCE DI TAGLIO		
E_{cls}	E_{acc}	h	b	c	d (h utile)	L	L_v
N/mm ² 11332.1104	N/mm ² 210000	mm 500	mm 300	mm 30	mm 470	mm 3450	mm 1725
ARMATURA LONGITUDINALE		ASSE NEUTRO		LUNGH. CERNIERA PLASTICA			
A_s	A'_s	d_b	x	L_{pl}			
mm ² 308	mm ² 616	mm 14	mm 95.98	mm 620.86			
DEFORMAZIONE A SNERVAMENTO				DEFORMAZIONE A ROTTURA			
ϵ_{syd}		ϵ_c		ϵ_{su}		ϵ_{cu}	
Hp: acciaio allo snervamento				Hp: deformaz. ultima: acciaio = 4%; cls = 3,5 ‰			
0.002047619		0.000525421		0.04		0.0035	
CURVAT. a SNERVAM.	CURVAT. ULTIMA	ROTAZ. a SNERVAM.	ROTAZ. a ROTTURA	ROTAZ. allo SL-DS			
$\phi_y = \epsilon_c/x$	$\phi_u = \epsilon_{cu}/x$	θ_y	θ_u	θ_{DS}			
mm-1	mm-1	Radianti	Radianti	Radianti			
5.4746E-06	3.6468E-05	0.00609	0.01458	0.01094			

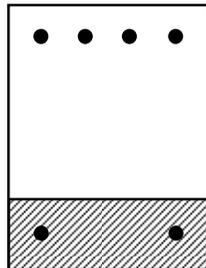
DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

TRAVI: Valutazione delle rotazioni di collasso (capacità)

Formula 2.1:
$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5L_{pl}}{L_v} \right) \right) \xrightarrow{\text{OPCM 3431}} L_{pl} = 0.1L_v + 0.17h + 0.24 \frac{d_{bL} f_y}{\sqrt{f_c}}$$

Armatura tesa superiore



TRAVE T14

CAPACITA' DI ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA							
DATI MATERIALI							
γ_{el}	f_{cm} N/mm ²	f_{ym} N/mm ²	f_{ywm} N/mm ²	FC	f_{cdm} N/mm ²	f_{ydm} N/mm ²	f_{ywdm} N/mm ²
1.5	15.81	430	430	1	15.81	430	430
DATI MATERIALI		DATI GEOMETRICI SEZIONE			LUCE DI TAGLIO		
E_{cls} N/mm ²	E_{acc} N/mm ²	h mm	b mm	c mm	d mm	L mm	L_v mm
11332.1104	210000	500	300	30	470	3450	1725
ARMATURA LONGITUDINALE		ASSE NEUTRO		LUNGH. CERNIERA PLASTICA			
A_s mm ²	A'_s mm ²	d_b mm	x mm		L_{pl} mm		
616	308	14	143.34		620.86		
DEFORMAZIONE A SNERVAMENTO				DEFORMAZIONE A ROTTURA			
ϵ_{syd} Hp: acciaio allo snervamento		ϵ_c		ϵ_{su} Hp: deformaz. ultima: acciaio = 4%; cls = 3,5 %		ϵ_{cu}	
0.002047619		0.000898517		0.04		0.0035	
CURVAT. a SNERVAM.	CURVAT. ULTIMA	ROTAZ. a SNERVAM.		ROTAZ. a ROTTURA		ROTAZ. allo SL-DS	
$\phi_y = \epsilon_c / x$ Rad/mm	$\phi_u = \epsilon_{cu} / x$ Rad/mm	θ_y Radianti		θ_u Radianti		θ_{DS} Radianti	
6.2684E-06	2.4417E-05	0.0067033		0.01062899		0.0079717	

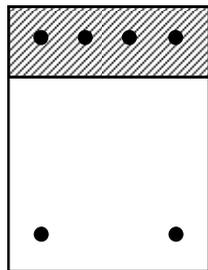
DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

TRAVI: Valutazione delle rotazioni di collasso (capacità)

Formula 2.2:
$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5L_{pl}}{L_v} \right) \right) \xrightarrow{\text{Fardis 2005}} L_{pl} = \frac{L_v}{30} + 0,02h + 0,11 \frac{d_{bL} f_y}{\sqrt{f_c}}$$

Armatura tesa
inferiore



TRAVE T14

CAPACITA' DI ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA									
DATI MATERIALI									
γ_{el}	f_{cm} N/mm ²	f_{ym} N/mm ²	f_{ywm} N/mm ²	FC	f_{cdm} N/mm ²	f_{ydm} N/mm ²	f_{ywdm} N/mm ²		
1.5	15.81	430	430	1	15.81	430	430		
DATI MATERIALI		DATI GEOMETRICI SEZIONE				LUCE DI TAGLIO			
E_{cls} N/mm ²	E_{acc} N/mm ²	h mm	b mm	c mm	d mm	L mm	L_v mm		
11332.1104	210000	500	300	30	470	3450	1725		
ARMATURA LONGITUDINALE			ASSE NEUTRO		LUNGH. CERNIERA PLASTICA				
A_s Mm ²	A'_s mm ²	d_b mm	x mm		L_{pl} mm				
308	616	14	95.98		234.04				
DEFORMAZIONE A SNERVAMENTO					DEFORMAZIONE A ROTTURA				
ϵ_{syd}		ϵ_c			ϵ_{su}			ϵ_{cu}	
Hp: acciaio allo snervamento		Hp: deformaz. ultima: acciaio = 4%; cls = 3,5 %			Hp: deformaz. ultima: acciaio = 4%; cls = 3,5 %			Hp: deformaz. ultima: acciaio = 4%; cls = 3,5 %	
0.002047619		0.000525421			0.04			0.0035	
CURVAT. a SNERVAM.	CURVAT. ULTIMA	ROTAZ. a SNERVAM.		ROTAZ. a ROTTURA		ROTAZ. allo SL-DS			
$\phi_y = \epsilon_c / x$ Rad/mm	$\phi_u = \epsilon_{cu} / x$ Rad/mm	θ_y Radianti		θ_u Radianti		θ_{DS} Radianti			
5.4746E-06	3.6468E-05	0.006091		0.008568		0.006426			

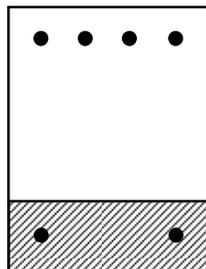
DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

TRAVI: Valutazione delle rotazioni di collasso (capacità)

Formula 2.2:
$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5L_{pl}}{L_v} \right) \right) \xrightarrow{\text{Fardis 2005}} L_{pl} = \frac{L_v}{30} + 0,02h + 0,11 \frac{d_{bL} f_y}{\sqrt{f_c}}$$

Armatura tesa superiore



TRAVE T14

CAPACITA' DI ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA							
DATI MATERIALI							
γ_{el}	f_{cm} N/mm ²	f_{ym} N/mm ²	f_{ywm} N/mm ²	FC	f_{cdm} N/mm ²	f_{ydm} N/mm ²	f_{ywdm} N/mm ²
1.5	15.81	430	430	1	15.81	430	430
DATI MATERIALI		DATI GEOMETRICI SEZIONE			LUCE DI TAGLIO		
E_{cls} N/mm ²	E_{acc} N/mm ²	h mm	b mm	c mm	d mm	L mm	L_v mm
11332	210000	500	300	30	470	3450	1725
ARMATURA LONGITUDINALE		ASSE NEUTRO		LUNGH. CERNIERA PLASTICA			
A_s Mm ²	A'_s mm ²	d_b mm	x mm	L_{pl} mm			
616	308	14	143.34	234.04			
DEFORMAZIONE A SNERVAMENTO				DEFORMAZIONE A ROTTURA			
ϵ_{syd}	ϵ_c		ϵ_{su}		ϵ_{cu}		
Hp: acciaio allo snervamento	Hp: deformaz. ultima: acciaio = 4%; cls = 3,5 %		0.04		0.0035		
0.002047619	0.000898517						
CURVAT. a SNERVAM.	CURVAT. ULTIMA	ROTAZ. a SNERVAM.	ROTAZ. a ROTTURA	ROTAZ. allo SL-DS			
$\phi_y = \epsilon_c / x$ Rad/mm	$\phi_u = \epsilon_{cu} / x$ Rad/mm	θ_y Radianti	θ_u Radianti	θ_{DS} Radianti			
6.2684E-06	2.4417E-05	0.006703287	0.007108489	0.005331			

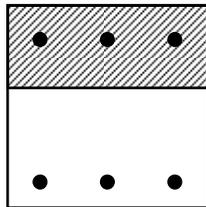
DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

PILASTRI: Valutazione delle rotazioni di collasso (capacità)

Formula 1:
$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.016 \cdot (0.3^v) \left[\frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} \right]^{0.225} \left(\frac{L_V}{h} \right)^{0.35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.25^{100 \rho_d})$$

Pilastri



PILASTRO P17

CAPACITA' DI ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA IN CONDIZIONI DI COLLASO

DATI MATERIALI							
γ_{el}	f_{cm} N/mm ²	f_{ym} N/mm ²	f_{yw} N/mm ²	FC	f_{cdm} (N/mm ²)	f_{ydm} N/mm ²	f_{ywdm} N/mm ²
1.5	15.81	430	430	1	15.81	430	430
DATI GEOMETRICI		LUCE DI TAGLIO		ARMATURA LONGITUDINALE			
h (mm)	b (mm)	L (mm)	L_V (mm)	A_s mm ²	A'_s mm ²	ω	ω'
350	350	3350	1675	603	603	0.15567517	0.15567517
STAFFE				ARMATURE DIAGONALI			
interasse	area	larghezza dell'anima	% armatura trasversale	distanza	area	larghezza dell'anima	% armatura diagonale
s_h (mm)	A_{sx} (mm ²)	b_w (mm)	ρ_{sx}	$s_{h_diagonali}$ (mm)	A_{sx} (mm ²)	b_w (mm)	ρ_d
150	56	350	0.00106667	0	0	350	0
SFORZO ASSIALE NORMALIZZATO			FATTORE DI EFFICIENZA DEL CONFINAMENTO				
N (N)	A_c (mm ²)	v	b_0 (mm)	h_0 (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	α
429903	122500	0.22197421	306	306	129	129	
			b_3 (mm)	b_4 (mm)	b_5 (mm)	b_6 (mm)	
			274	129	129	274	0.35

θ_u (rad) 0.023084461

θ_{DS} (rad) **0.017313346**

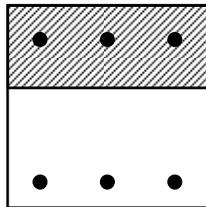
DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

PILASTRI: Valutazione delle rotazioni di collasso (capacità)

Formula 2.1:
$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5L_{pl}}{L_v} \right) \right) \xrightarrow{\text{OPCM 3431}} L_{pl} = 0.1L_v + 0.17h + 0.24 \frac{d_{bL} f_y}{\sqrt{f_c}}$$

Pilastri



PILASTRO P17

CAPACITA' DI ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA

DATI MATERIALI							
γ_{el}	f_{cm} N/mm ²	f_{ym} N/mm ²	f_{yw} N/mm ²	FC	f_{cdm} N/mm ²	f_{ydm} N/mm ²	f_{ywdm} N/mm ²
1.5	15.81	430	430	1	15.81	430	430
DATI MATERIALI		DATI GEOMETRICI SEZIONE				LUCE DI TAGLIO	
E_{cls} N/mm ²	E_{acc} N/mm ²	h mm	b mm	c mm	d (h utile) mm	L mm	L_v mm
11332.11	210000	350	350	30	320	3350	1675
ARMATURA LONGITUDINALE			Coeff. Omog.	Asse Neutro		LUNGH. Cerniera Plastica	
A_s mm ²	A'_s mm ²	d_b mm	n	x mm		L_{pl_OPCM} mm	
603	603	16	18.53	98.71		642.27	
DEFORMAZIONE A SNERVAMENTO				DEFORMAZIONE A ROTTURA			
ϵ_{syd} Hp: acciaio allo snervamento		ϵ_c		ϵ_{su} Hp: deformaz. ultima: cls = 3,5 %		ϵ_{cu}	
0.002047619		0.00091334		0.04		0.0035	
CURVAT. a SNERVAM.	CURVAT. ULTIMA	ROTAZ. a SNERVAM.		ROTAZ. a ROTTURA		ROTAZ. allo SL-DS	
$\phi_y = \epsilon_c / X$ Rad/mm	$\phi_u = \epsilon_{cu} / X$ Rad/mm	θ_y Radianti		θ_u Radianti		θ_{DS} Radianti	
9.253E-06	3.5458E-05	0.008955084		0.015039443		0.0112796	

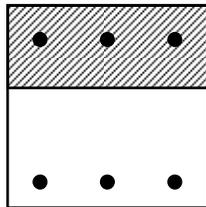
DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

PILASTRI: Valutazione delle rotazioni di collasso (capacità)

Formula 2.2:
$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5L_{pl}}{L_v} \right) \right) \xrightarrow{\text{Fardis 2005}} L_{pl} = \frac{L_v}{30} + 0,02h + 0,11 \frac{d_{bL} f_y}{\sqrt{f_c}}$$

Pilastri



**PILASTRO
P17**

CAPACITA' DI ROTAZIONE RISPETTO ALLA CORDA

DATI MATERIALI							
γ_{el}	f_{cm} N/mm ²	f_{ym} N/mm ²	f_{yw} N/mm ²	FC	f_{cdm} N/mm ²	f_{ydm} N/mm ²	f_{ywdm} N/mm ²
1.5	15.81	430	430	1	15.81	430	430
DATI MATERIALI		DATI GEOMETRICI SEZIONE				LUCE DI TAGLIO	
E_{cls} N/mm ²	E_{acc} N/mm ²	h mm	b mm	c mm	d (h utile) mm	L mm	L_v mm
11332.11	210000	350	350	30	320	3350	1675
ARMATURA LONGITUDINALE			Coeff. Omog.	Asse Neutro		LUNGH. Cerniera Plastica	
A_s mm ²	A'_s mm ²	d_b mm	n	x mm		L_{pl_FARDIS} mm	
603	603	16	18.53	98.71		158.57	
DEFORMAZIONE A SNERVAMENTO				DEFORMAZIONE A ROTTURA			
ϵ_{syd}		ϵ_c		ϵ_{su}		ϵ_{cu}	
Hp: acciaio allo snervamento				Hp: deformaz. ultima: cls = 3,5 %			
0.002047619		0.00091334		0.04		0.0035	
CURVAT. a SNERVAM.	CURVAT. ULTIMA	ROTAZ. a SNERVAM.		ROTAZ. a ROTTURA		ROTAZ. allo SL-DS	
$\phi_y = \epsilon_c / X$ Rad/mm	$\phi_u = \epsilon_{cu} / X$ Rad/mm	θ_y Radianti		θ_u Radianti		θ_{DS} Radianti	
9.253E-06	3.5458E-05	0.008955084		0.008609183		0.0064569	

DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

TRAVI e PILASTRI: Valutazione delle rotazioni di collasso - Differenze tra le formulazioni

Valutazione delle rotazioni al collasso			
	FORMULA 1	FORMULA 2.1	FORMULA 2.2
TRAVE T14		(L_{pl} da OPCM)	(L_{pl} da Fardis)
	θ_{DS} (rad)	θ_{DS} (rad)	θ_{DS} (rad)
	Arm. tesa inf.	0.0247	0.0109
Arm. tesa sup.	0.0181	0.0080	0.0053
PILASTRO P17	θ_{DS} (rad)	θ_{DS} (rad)	θ_{DS} (rad)
		0.0173	0.0103

Formula 1:
$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \cdot 0.016 \cdot (0.3^v) \left[\frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} f_c \right]^{0.225} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0.35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.25^{100 \rho_d})$$

Formula 2:
$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5 L_{pl}}{L_v} \right) \right)$$

NOTA: Per le verifiche ci serviremo dei valori forniti dalla formula 2 della Circolare
122

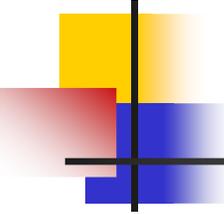
DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi duttili

TRAVI e PILASTRI: Differenze della L_{pl} con le diverse formulazioni

TRAVE T14 (30 x 50 cm)	
OPCM $L_{pl} = 0.1L_v + 0.17h + 0.24 \frac{d_{bL}f_y}{\sqrt{f_c}}$	Fardis $L_{pl} = \frac{L_v}{30} + 0.02h + 0.11 \frac{d_{bL}f_y}{\sqrt{f_c}}$
L_{pl} (mm)	L_{pl} (mm)
620.86	234.04

PILASTRO P1 (35 x 35 cm)	
OPCM $L_{pl} = 0.1L_v + 0.17h + 0.24 \frac{d_{bL}f_y}{\sqrt{f_c}}$	Fardis $L_{pl} = \frac{L_v}{30} + 0.02h + 0.11 \frac{d_{bL}f_y}{\sqrt{f_c}}$
L_{pl} (mm)	L_{pl} (mm)
642.27	158.57



EDIFICI STRATEGICI

ANALISI DI LIVELLO 1

PRIMO IMPALCATO

- **Meccanismi duttili**
 - Determinazione della domanda (meccanismi duttili)
 - Determinazione della capacità (meccanismi duttili)
 - Confronto tra domanda e capacità
 - Livello di vulnerabilità SL-DS per il primo impalcato

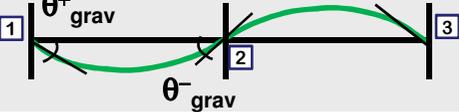
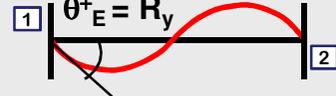
- **Meccanismi fragili**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

- **Nodi Trave - Pilastro**
 - Determinazione della resistenza a trazione e a compressione del nodo
 - Verifica nodi primo impalcato

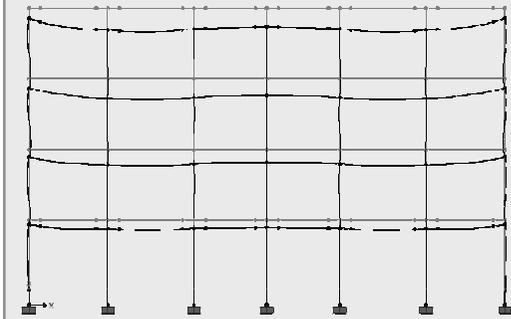
CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

Determinazione del Moltiplicatore dell'accelerazione che provoca la rotazione allo SLV

CASO 1

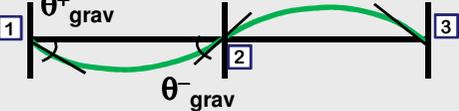
CAPACITA'	DOMANDA	
	Carichi gravitazionali	Carichi sismici
		
Nodo 1:		
I	$ \theta_{DS}^+ = \alpha \theta_E + \theta_{grav}$	$\Rightarrow \alpha_I = \frac{ \theta_{DS}^+ - \theta_{grav}}{ \theta_E }$
Nodo 2:		
II	$ \theta_{DS}^+ = \alpha \theta_E - \theta_{grav}$	$\Rightarrow \alpha_{II} = \frac{ \theta_{DS}^+ + \theta_{grav}}{ \theta_E }$

Deformazione dovuta ai carichi gravitazionali

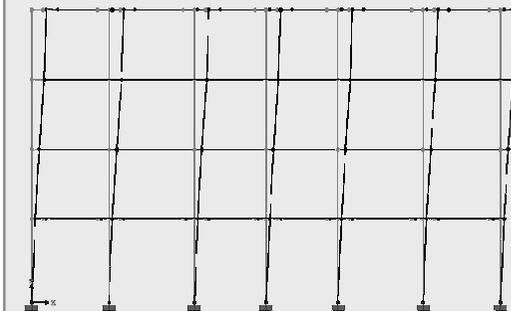


Nota: θ_{grav} deve essere considerato, in ciascun nodo, con il suo segno

CASO 2

CAPACITA'	DOMANDA	
	Carichi gravitazionali	Carichi sismici
		
Nodo 1:		
I	$- \theta_{DS}^- = -\alpha \theta_E + \theta_{grav}$	$\Rightarrow \alpha_I = \frac{ \theta_{DS}^- + \theta_{grav}}{ \theta_E }$
Nodo 2:		
II	$- \theta_{DS}^- = -\alpha \theta_E - \theta_{grav}$	$\Rightarrow \alpha_{II} = \frac{ \theta_{DS}^- - \theta_{grav}}{ \theta_E }$

Deformazione dovuta all'azione sismica



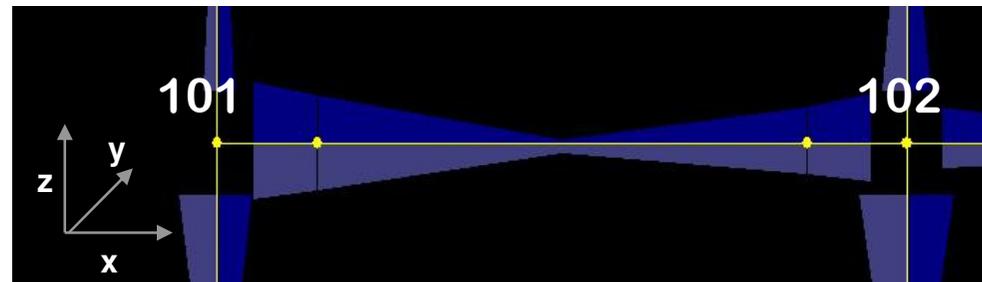
CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

Meccanismi duttili

TRAVI: determinazione del moltiplicatore di accelerazione che provoca la rotazione allo SLV (meccanismi duttili)

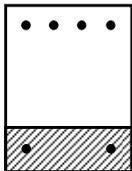
Moltiplicatore dell'accelerazione per il raggiungimento della rotazione di DS

$$\alpha = \frac{\theta_{DS} - \theta_{grav}}{\theta_E}$$

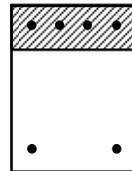


CAPACITA' - CASI ESAMINATI

Armatura tesa superiore



Armatura tesa inferiore



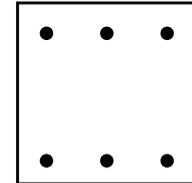
L'accelerazione sismica limite che la trave T14 esaminata (sez. 30x50; armatura superiore = 4φ14; armatura inferiore = 2 φ14) è in grado di sopportare prima di raggiungere la rotazione allo stato limite di danno severo è pari a **0.64 g**.

DATI				Geometria sezione		Armatura longitudinale		ROTAZ. allo SL-DS	DOMANDA		Moltiplicatore dell'acceleraz.
TELAIO	Nodo	Trave	Step	h	b	As	A's	θ_{DS}	Carichi sismici	Carichi gravit.	α_{SD}
Text	Text	Text	Text	mm	mm	mm	mm	Radiani	θ_E (PGA = 1)	θ_G (Gk+0.3Qk)	
TELAIO 1	101	T14	Max	500	300	616	308	0.0080	0.0118	0.000405	0.64
TELAIO 1	101		Min	500	300	308	616	-0.0109	-0.0118	0.000405	0.96
TELAIO 1	102		Max	500	300	616	308	0.0080	0.0050	-0.000006202	1.58
TELAIO 1	102		Min	500	300	308	616	-0.0109	-0.0050	-0.000006202	2.17

CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

Meccanismi duttili

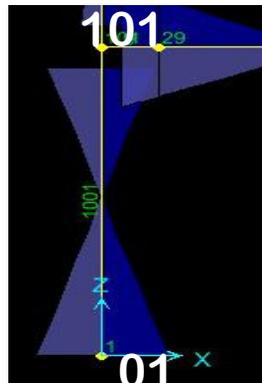
Pilastri



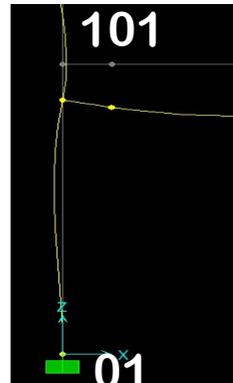
PILASTRI: determinazione del moltiplicatore di accelerazione che provoca la rotazione allo SLV

DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA DOVUTA AD UNA PGA = 1 - Pilastro 17 - Primo impalcato													
Pilastro	Nodo		Ux	Uy	Rx	Ry	H _{pil}	Direzione x		Direzione y		$\theta_y (PGA=1) = \alpha_y - \beta_y$	$\theta_x (PGA=1) = \alpha_x - \beta_x$
								$\alpha_y = U_x/H$	$\beta_y = R_y$	$\alpha_x = U_y/H$	$\beta_x = R_x$		
Text	Text	Text	m	m	Radians	Radians	m	Radians	Radians	Radians	Radians	Radians	Radians
P17	101	Max	0.0788	0.1150	0.0238	0.0118	3.35	0.02353	0.01176	0.03434	0.02377	0.01177	0.01057
P17	101	Min	-0.0788	-0.1150	-0.0238	-0.0118	3.35	-0.02353	-0.01176	-0.03434	-0.02377	-0.01177	-0.01057

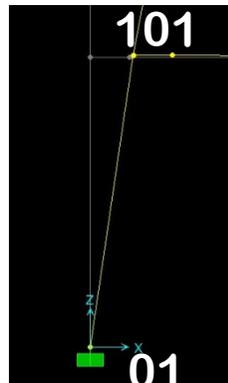
DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA DOVUTA AI CARICHI GRAVITAZIONALI - Pilastro 17 - Primo impalcato													
Pilastro	Nodo	Ux	Uy	Rx	Ry	H _{pil}	Direzione x		Direzione y		$\theta_y (Gk+0.3Qk) = \alpha_y - \beta_y$	$\theta_x (Gk+0.3Qk) = \alpha_x - \beta_x$	
							$\alpha_y = U_x/H$	$\beta_y = R_y$	$\alpha_x = U_y/H$	$\beta_x = R_x$			
Text	Text	m	m	Radians	Radians	m	Radians	Radians			Radians	Radians	
P17	101	-2.61E-06	-3.40E-05	-5.61E-04	4.05E-04	3.35	7.79E-07	4.05E-04	1.01E-05	5.61E-04	4.04E-04	5.51E-04	



Sollecitazioni dovute all'azione sismica



Deformazione dovuta ai carichi gravitazionali



Deformazione dovuta all'azione sismica

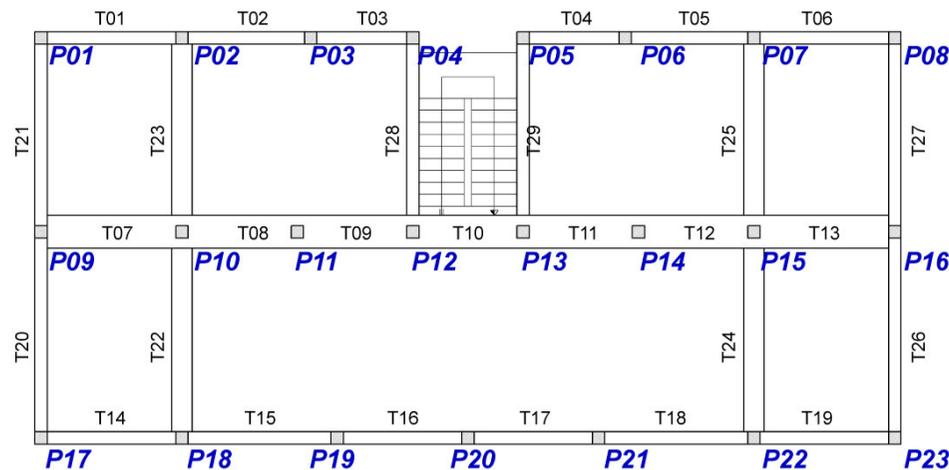
DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA' - Pilastro 17 - Primo impalcato					
		Capacità		Moltiplicatore dell'accelerazione che provoca la rotazione di DS	
Nodi		L _{pl OPCM}	θ_{DS}	$\alpha_y = [\theta_{DS} - \theta_{grav}] / \theta_E$	$\alpha_x = [\theta_{DS} - \theta_{grav}] / \theta_E$
Text	Text	mm	Radians		
101	Max	642.27	0.01020	0.83	0.91
101	Min	642.27	-0.01020	0.83	0.91

CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

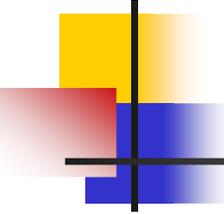
Meccanismi duttili

TRAVI e PILASTRI: determinazione del più piccolo moltiplicatore di accelerazione che provoca la allo SLV del primo impalcato

Analizzando tutte le travi (sia con armatura tesa inferiore che superiore) e tutti i pilastri (in entrambe le direzioni x e y, si ottiene che il più piccolo moltiplicatore al collasso è di **0.34 g**. Esso viene riscontrato per il pilastro n. 09 in direzione y.



Per le travi il più piccolo moltiplicatore presente è **0.39 g** ed è riscontrabile nella trave T21.



EDIFICI STRATEGICI

ANALISI DI LIVELLO 1

PRIMO IMPALCATO

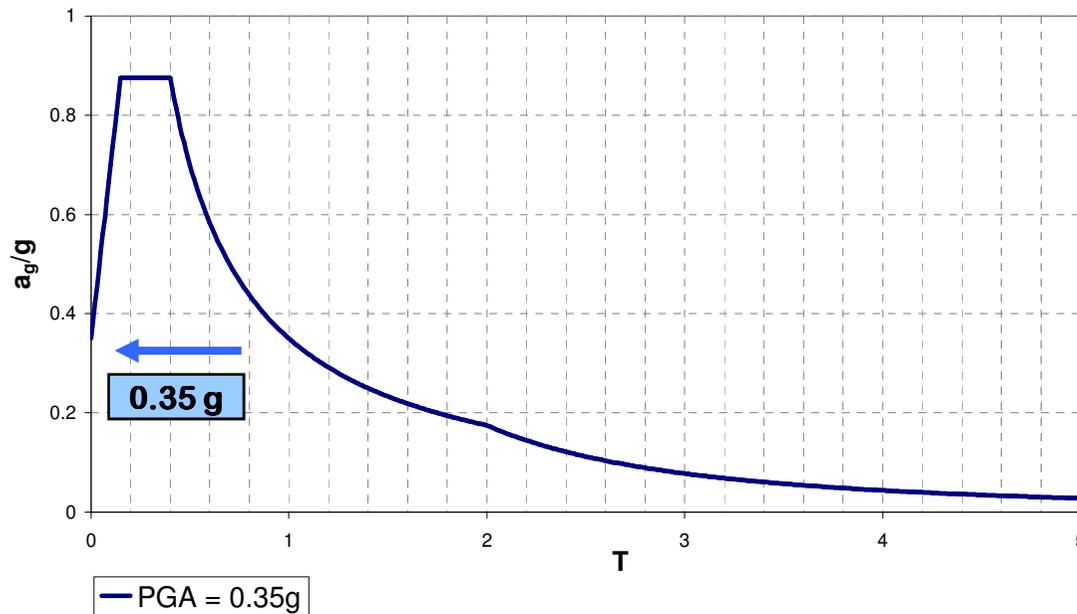
- **Meccanismi duttili**
 - Determinazione della domanda (meccanismi duttili)
 - Determinazione della capacità (meccanismi duttili)
 - Confronto tra domanda e capacità
 - Livello di vulnerabilità SL-DS per il primo impalcato

- **Meccanismi fragili**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

- **Nodi Trave - Pilastro**
 - Determinazione della resistenza a trazione e a compressione del nodo
 - Verifica nodi primo impalcato

LIVELLO DI VULNERABILITA' PER IL PRIMO IMPALCATO (SLV)

MECCANISMI DUTTILI



Indice di Vulnerabilità

$$I_{R_SLV} = \frac{PGA_{SLV}}{PGA_{10\%}}$$

PGA_{DS} = moltiplicatore dell'accelerazione che provoca il raggiungimento della **rotazione** di DS ad un piano

$PGA_{10\%}$ = accelerazione al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

I_{R_DS} = indice di vulnerabilità (o livello di rischio) allo SLV

LIVELLO DI VULNERABILITA' PER IL PRIMO IMPALCATO (SLV)

$$I_{R_SLV} = \frac{PGA_{SLV}}{PGA_{10\%}} = \frac{0.34}{0.35} = 0.97$$

NOTA: per definire il livello di vulnerabilità allo SLV non è necessario definire il moltiplicatore dell'accelerazione che provoca il raggiungimento del collasso a **taglio**. Tuttavia nella determinazione dell'indice di rischio si è voluto ugualmente tener conto del fatto che il collasso a taglio può avvenire prima di quello a pressoflessione

VALUTAZIONE CRITICA DEL PROCEDIMENTO DI VERIFICA DI LIVELLO 1

MECCANISMI DUTTILI

In termini pratici, dopo aver determinato il moltiplicatore dell'accelerazione che identifica il sisma che sarebbe sopportato (in termini di rotazione) da quel piano, abbiamo applicato una accelerazione di ancoraggio pari a:

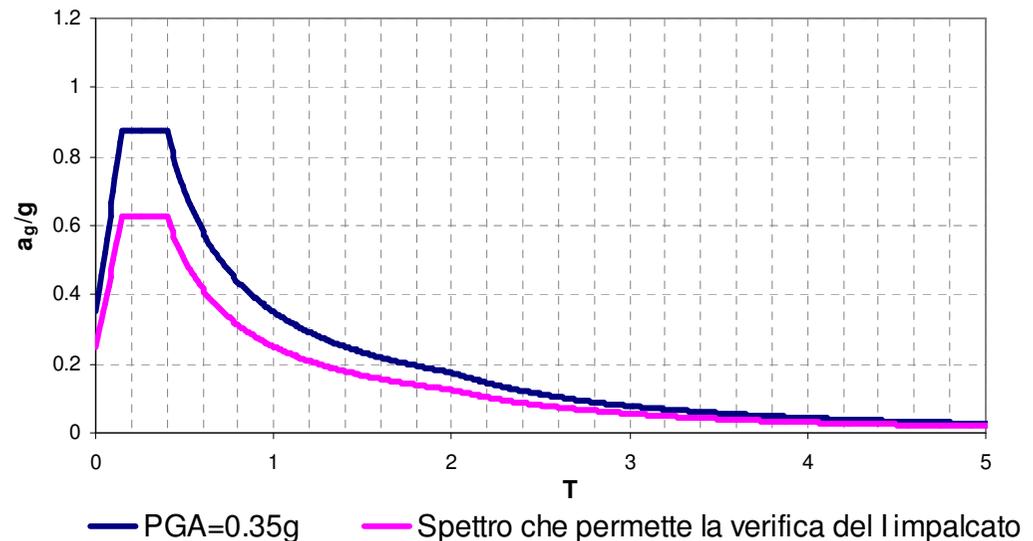
$$PGA_{SLV} = a_g \cdot S \cdot \gamma_I \cdot \left(\frac{\theta_{DS}}{\theta} \right)_{\min} = a_g \cdot S \cdot \gamma_I \cdot \alpha_e = 1g \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 0,34 = 0,34g$$

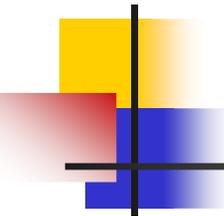
Per determinare l'indice di rischio, il valore 0,25 va quindi diviso per l'accelerazione di aggancio allo spettro:

$$I_{R_SLV} = \frac{PGA_{SLV}}{PGA_{10\%}} = \frac{0.34}{0.35} = 0.97$$

In termini grafici lo spettro che permetterebbe la verifica è il seguente:

VERIFICA PRIMO IMPALCATO





DPCM 21 ottobre 2003; Allegato2

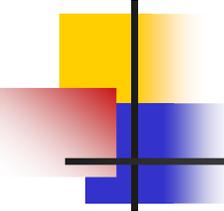
ANALISI DI LIVELLO 1

PRIMO IMPALCATO

- **Meccanismi duttili**
 - Determinazione della domanda (meccanismi duttili)
 - Determinazione della capacità (meccanismi duttili)
 - Confronto tra domanda e capacità
 - Livello di vulnerabilità SL-DS per il primo impalcato

- **Meccanismi fragili**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità

- **Nodi Trave - Pilastro**
 - Determinazione della resistenza a trazione e a compressione del nodo
 - Verifica nodi primo impalcato



DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi fragili - Taglio

NTC 2008; C8.7.2.5 Travi e pilastri: taglio

La resistenza a taglio si valuta come per il caso di nuove costruzioni per situazioni non sismiche, considerando comunque un **contributo del conglomerato al massimo pari a quello relativo agli elementi senza armature trasversali resistenti a taglio.**

UNI ENV 1992-1-1; Eurocodice 2; Progettazione di strutture di calcestruzzo

Resistenza a taglio di un elemento strutturale privo di armatura a taglio:

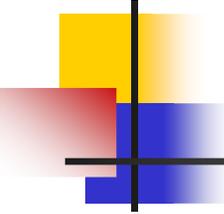
$$V_{Rd1} = \left[\tau_{Rd} k (1.2 + 40 \rho_l) + 0.15 \sigma_{cp} \right] \cdot b_w d = V_{cd}$$

Schiacciamento del puntone compresso

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9d$$

Resistenza a taglio di un elemento strutturale con armatura a taglio:

$$V_{Rd3} = \min(V_{wd} + V_{cd}; 2V_{wd}) = \min\left(V_{Rd1} + \frac{A_{sw}}{s} 0.9 \cdot d \cdot f_{yd}; 2 \cdot \frac{A_{sw}}{s} 0.9 \cdot d \cdot f_{yd} \right)$$



EDIFICI STRATEGICI

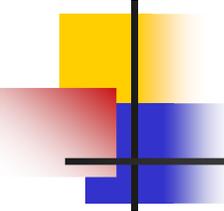
ANALISI DI LIVELLO 1

PRIMO IMPALCATO

- **Meccanismi duttili**
 - Determinazione della domanda (meccanismi duttili)
 - Determinazione della capacità (meccanismi duttili)
 - Confronto tra domanda e capacità
 - Livello di vulnerabilità SL-DS per il primo impalcato

- **Meccanismi fragili**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

- **Nodi Trave - Pilastro**
 - Determinazione della resistenza a trazione e a compressione del nodo
 - Verifica nodi primo impalcato



DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA

Meccanismi fragili - Taglio

La determinazione del Taglio Sollecitante (V_{Sd})

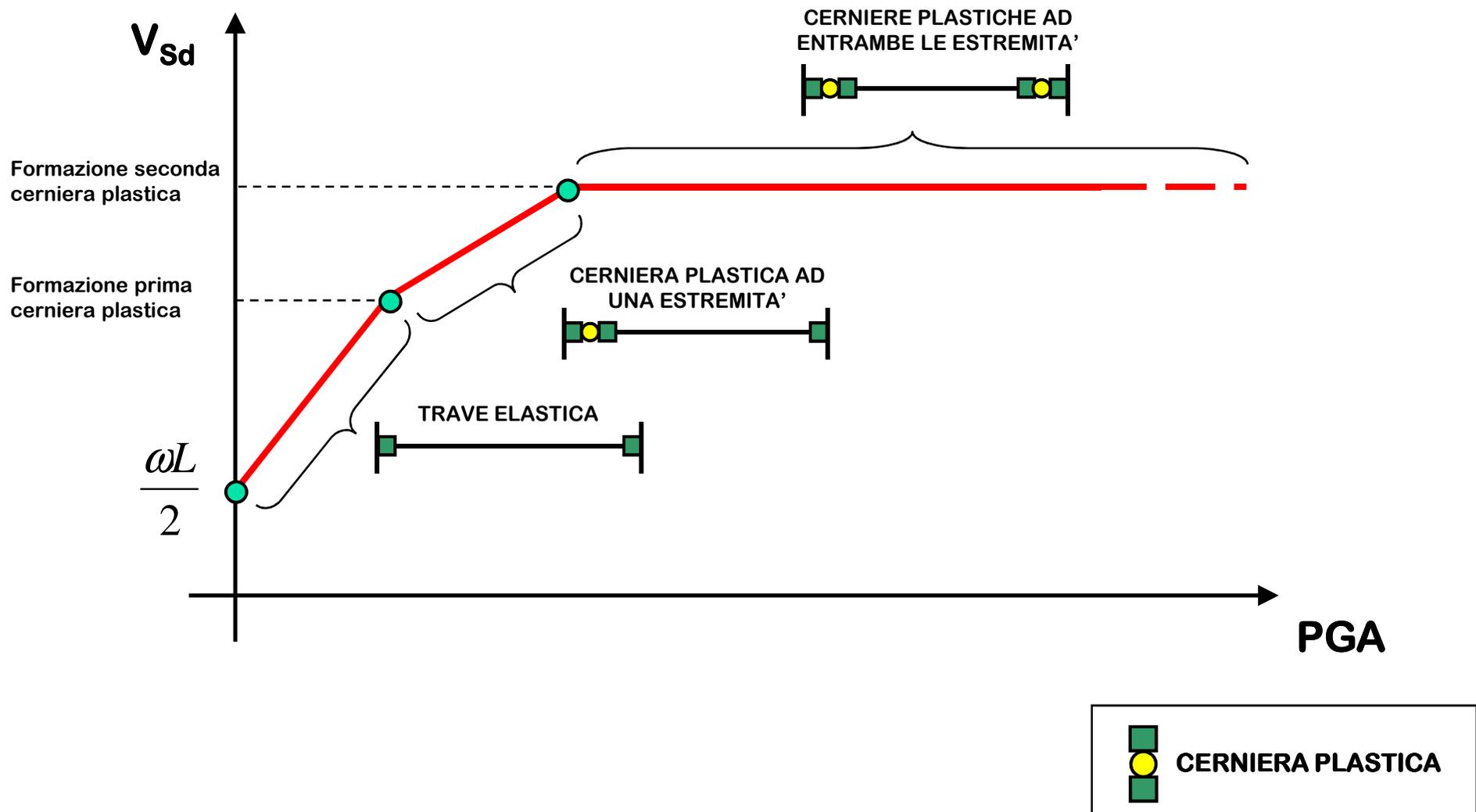
- ✓ La struttura è fortemente condizionata da questo meccanismo fragile; d'altra parte le sollecitazioni di progetto sono molto alte in quanto derivanti da una sollecitazione sismica estremamente gravosa ($PGA=1$).
- ✓ Il confronto tra $V_{Sd}(PGA=1)$ e V_{Rd} sarebbe corretto solo se gli elementi esaminati fossero in grado di comportarsi in maniera indefinitamente elastica, senza passare per le condizioni di equilibrio legate al momento resistente (momento ultimo). **Il valore del taglio agente sulla struttura è infatti connesso all'eventuale insorgere delle cerniere plastiche e quindi al valore del momento resistente**



E' NECESSARIO ADOTTARE UN CRITERIO CHE LEGHI IL TAGLIO SOLLECITANTE ALLA FORMAZIONE DELLE CERNIERE PLASTICHE (che avviene in corrispondenza di M_{Rd})

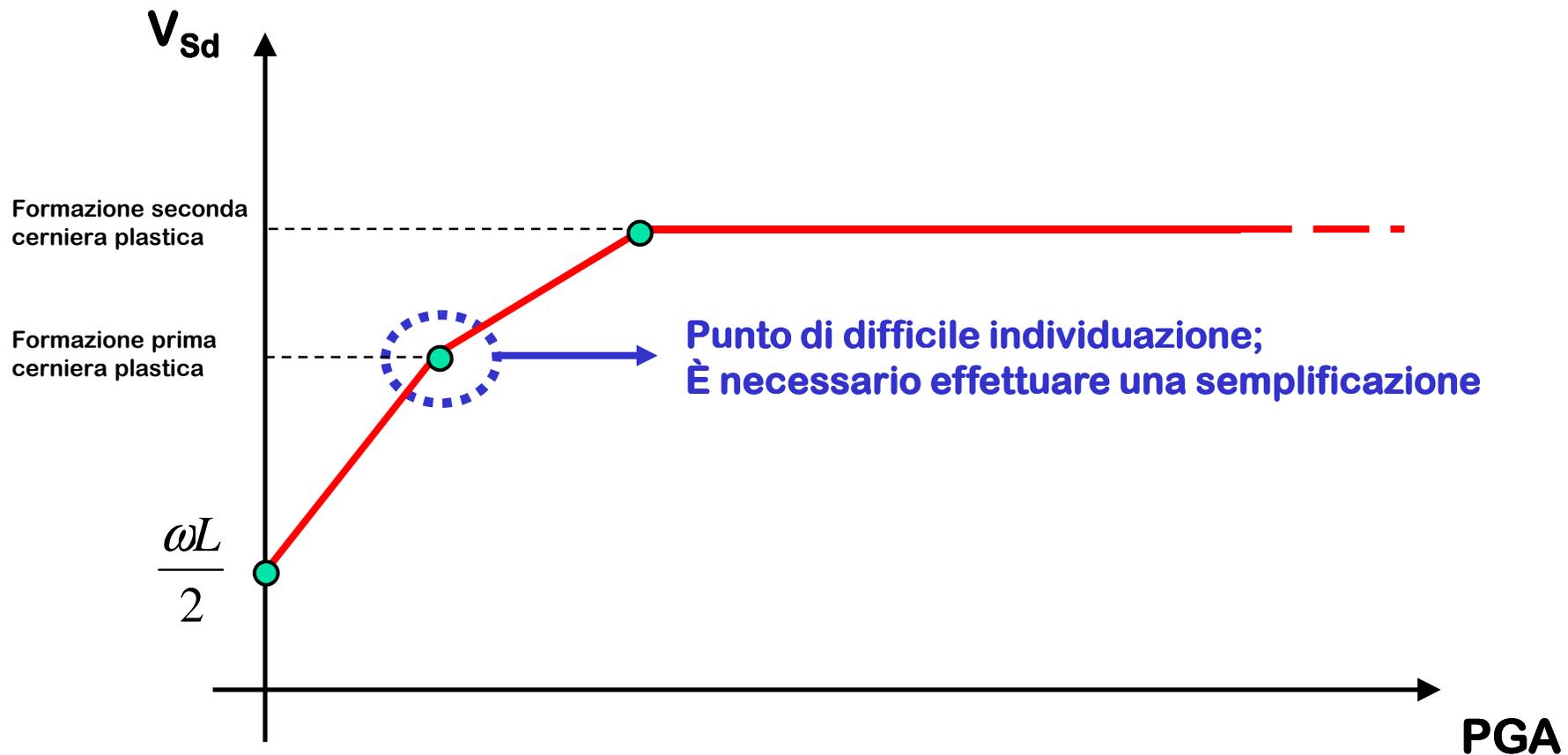
DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA

Meccanismi fragili - Taglio



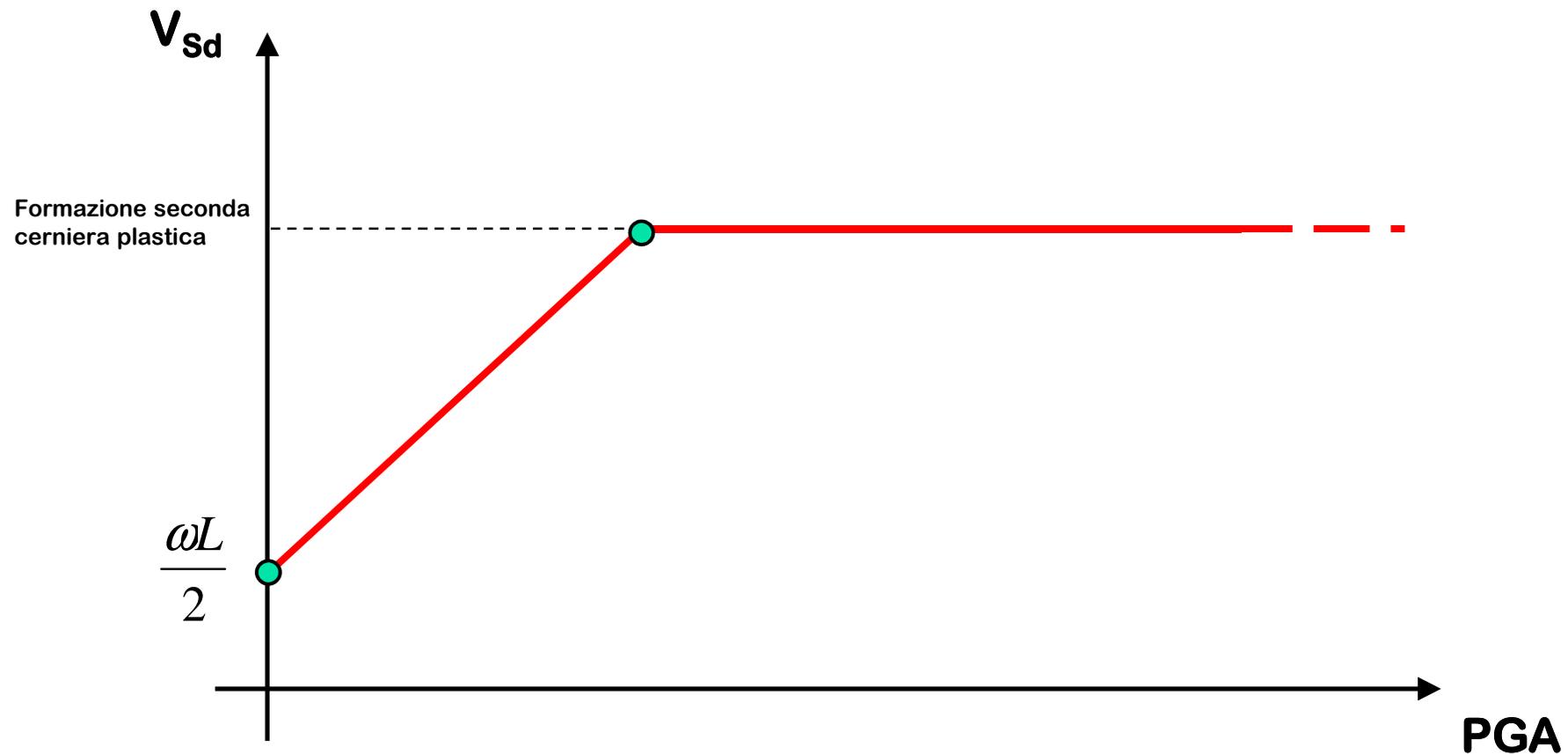
DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA

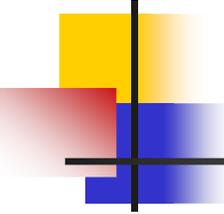
Meccanismi fragili - Taglio



DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA

Meccanismi fragili - Taglio





EDIFICI STRATEGICI

ANALISI DI LIVELLO 1

PRIMO IMPALCATO

- **Meccanismi duttili**
 - Determinazione della domanda (meccanismi duttili)
 - Determinazione della capacità (meccanismi duttili)
 - Confronto tra domanda e capacità
 - Livello di vulnerabilità SL-DS per il primo impalcato

- **Meccanismi fragili**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

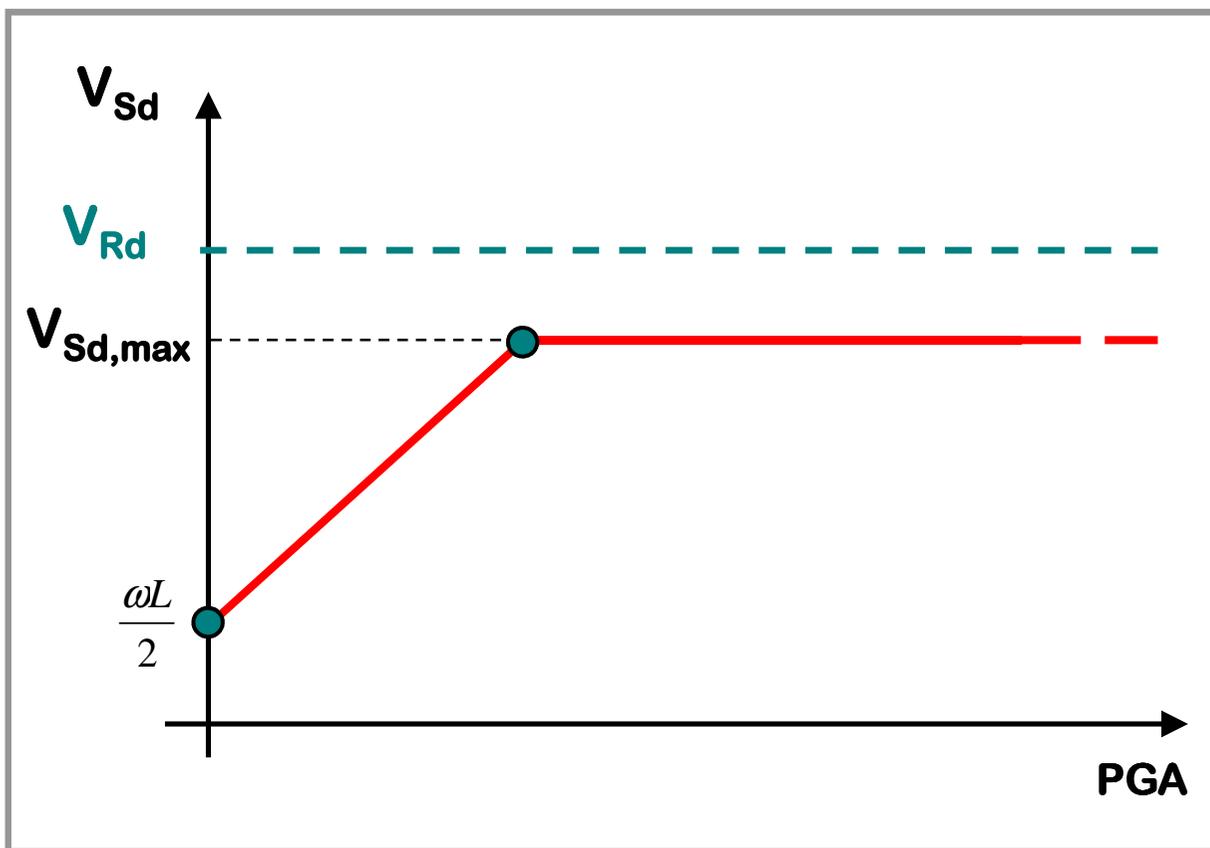
- **Nodi Trave - Pilastro**
 - Determinazione della resistenza a trazione e a compressione del nodo
 - Verifica nodi primo impalcato

CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

Meccanismi fragili

CASO 1: $V_{Rd} > V_{Sd,max}$

NON CI PUO' ESSERE ROTTURA A TAGLIO!



VERIFICA

Se $V_{Rd} > V_{Sd,max}$

↓

CAPACITA' > DOMANDA max

DETERMINAZIONE DI $V_{Sd,max}$

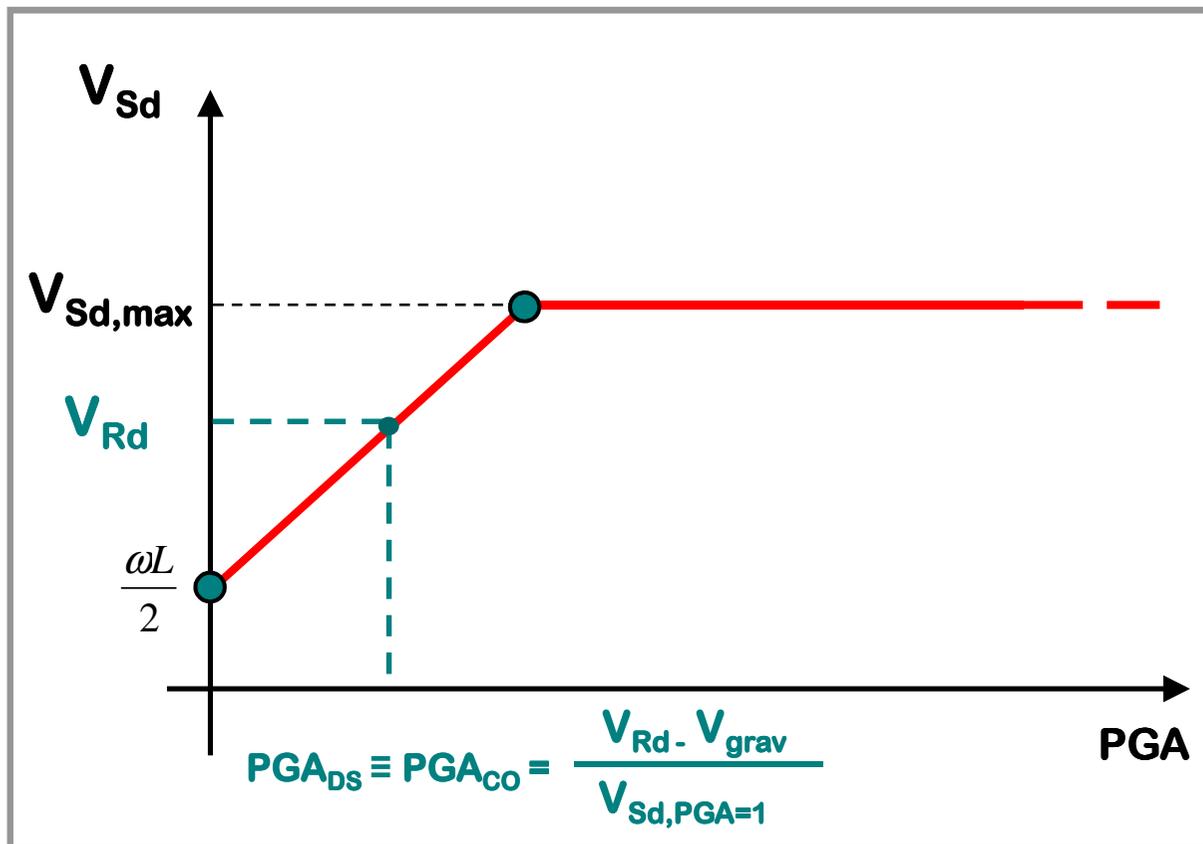
The diagram shows a beam of length L with moments M_{Rd}^s and M_{Rd}^d applied at the left and right ends, respectively. The beam is supported at both ends, and the length L is indicated by a dimension line below the beam.

$$V_{Sd,max} = \frac{\omega L}{2} + \frac{|M_{Rd}^{sin+}| + |M_{Rd}^{des-}|}{L}$$

CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

Meccanismi fragili

CASO 2: $V_{Rd} < V_{Sd,max}$



VERIFICA

Se $V_{Rd} < V_{Sd,max}$

↓

CAPACITA' < DOMANDA max

DETERMINAZIONE DI $V_{Sd,max}$

$$V_{Sd,max} = \frac{\omega L}{2} + \frac{|M_{Rd}^{sin+}| + |M_{Rd}^{des-}|}{L}$$

CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

Meccanismi fragili

MECCANISMI FRAGILI; TRAVI

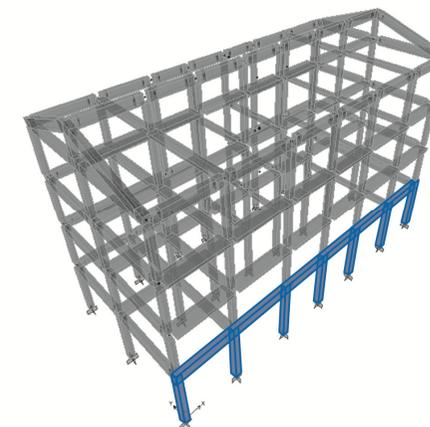
TRAVI PRIMO IMPALCATO				GEOMETRIA		CAPACITA'		DOMANDA					
Trave	L	Station	Step	h	b	M _{Rd}	V _{Rd}	ω	V _{Sd,max}	V _(PGA=1)	V _(grav)	V _{Rd} - V _{grav}	PGA _{DS=CO}
Text	mm	m	Text	mm	mm	kNm	kN	kN/m	kN	kN	kN	kN	
T14	3.45	0.175	Max	500	300	60.02	92.21	29.15	101.88	353.16	49.86	42.35	0.120
		3.275	Min	500	300	-117.97	-95.10			-353.16	-40.50	54.59	0.155
T15	3.80	0.175	Max	500	300	60.02	92.21	29.15	102.22	210.79	50.68	41.54	0.197
		3.625	Min	500	300	-117.97	-95.10			-210.79	-49.89	45.21	0.214
T16	3.20	0.175	Max	500	300	60.02	92.21	27.65	99.86	292.17	37.95	54.26	0.186
		3.025	Min	500	300	-117.97	-95.10			-292.17	-40.85	54.25	0.186
T17	3.20	0.175	Max	500	300	60.02	92.21	27.65	99.86	291.87	40.85	51.36	0.176
		3.025	Min	500	300	-117.97	-95.10			-291.87	-37.95	57.15	0.196
T18	3.80	0.175	Max	500	300	60.02	92.21	29.15	102.22	211.38	49.87	42.34	0.200
		3.625	Min	500	300	-117.97	-95.10			-211.38	-50.70	44.40	0.210
T19	3.45	0.175	Max	500	300	60.02	92.21	29.15	101.88	352.38	40.46	51.76	0.147
		3.275	Min	500	300	-117.97	-95.10			-352.38	-49.91	45.19	0.128

Accelerazione che determina il collasso a taglio per le travi

Se $V_{Rd} < V_{sd,max}$

$$PGA_{SLV=SLC} = a_{g(PGA=1)} S \cdot \gamma_I \frac{V_{Rd} - V_{grav}}{V_{PGA=1}}$$

L'accelerazione sismica limite che la travata esaminata è in grado di sopportare prima di raggiungere, in una delle due estremità, lo stato limite di danno severo a taglio è **0.120 g**.

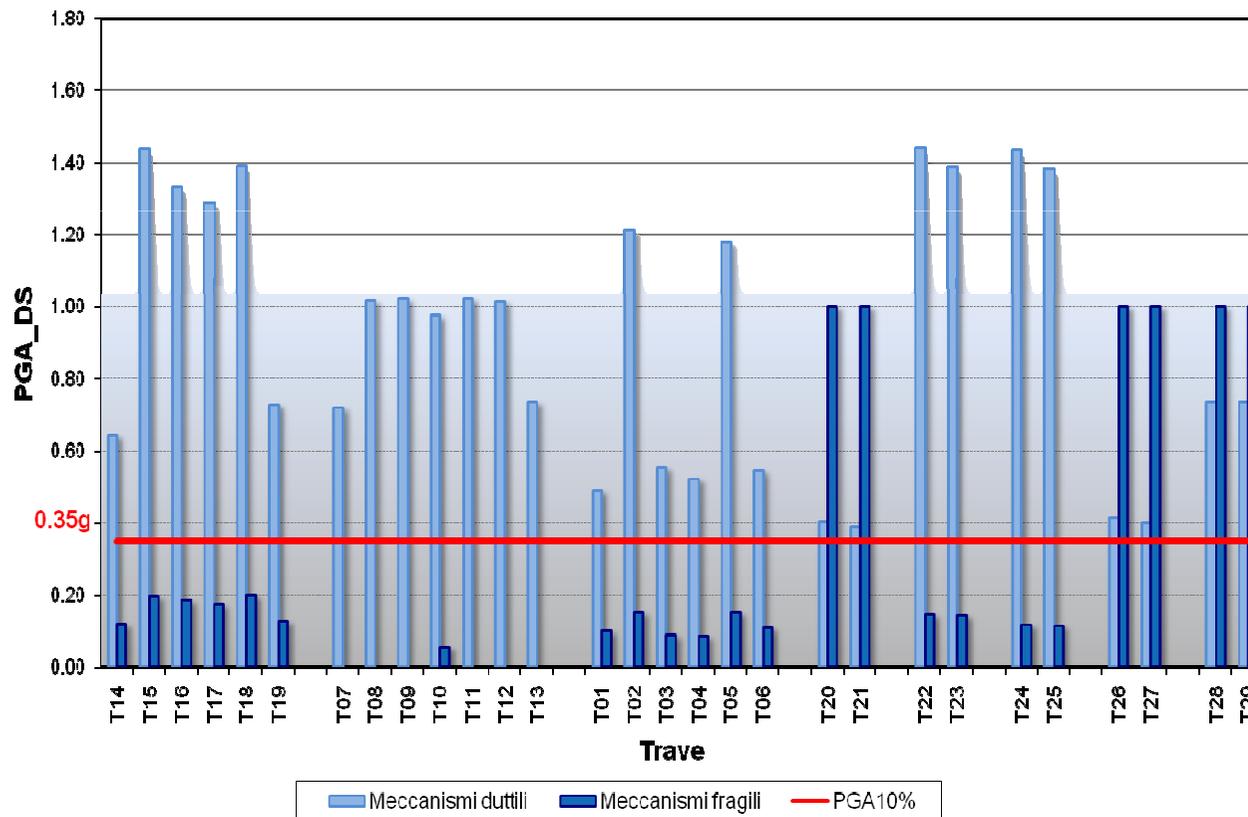


CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

Meccanismi fragili

MECCANISMI FRAGILI; TRAVI

ACCELERAZIONE CHE DETERMINA IL COLLASSO A TAGLIO PER LE TRAVI



Accelerazione che determina il collasso a taglio per le travi

Se $V_{Rd} < V_{sd,max}$

$$PGA_{SLV=SLC} = a_{g(PGA=1)} S \cdot \gamma_I \frac{V_{Rd} - V_{grav}}{V_{PGA=1}}$$

Ripetendo l'operazione eseguita per tutte le travi del primo impalcato si osserva che **in alcune travi a spessore 80x20 il taglio resistente è minore del taglio dovuto ai carichi gravitazionali**, per cui l'accelerazione sismica limite tali travi sono in grado di sopportare allo SL-DS è pari a **0g**.

CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

Meccanismi fragili

MECCANISMI FRAGILI; PILASTRI

L'accelerazione sismica limite che i pilastri esaminati sono in grado di sopportare prima di raggiungere, in una delle due estremità, la resistenza a taglio è maggiore **1.00g**.

Accelerazione che determina il collasso a taglio per i pilastri

$$\text{Se } V_{Rd} > V_{sd,max}$$

CAPACITA' > DOMANDA

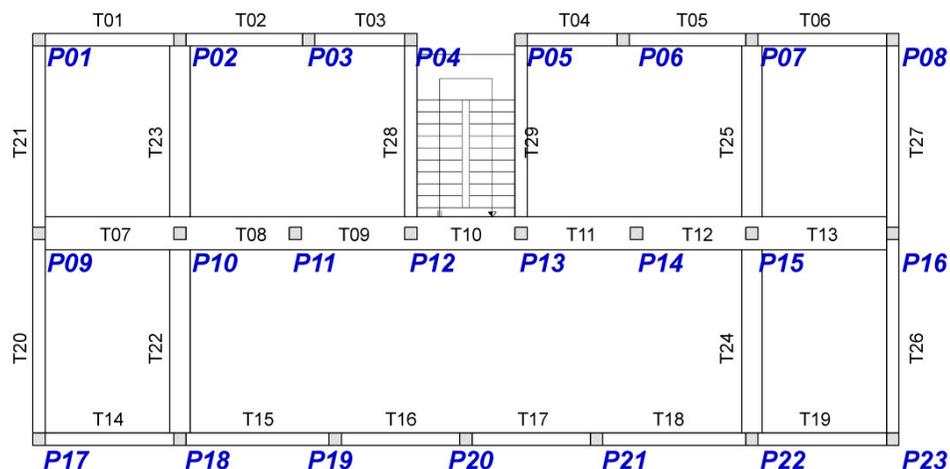
PILASTRI			Geometria sezione			Armatura long.		Carico assiale	CAPACITA'		DOMANDA						
Pil.	Station	Step	H	h	b	As	A's	P _(G+0.3Q)	MRd	VRd	Carichi sismici			Carichi grav.		Verifica	PGA _{DS=CO}
Text	m	Text	m	mm	mm	mm ²	mm ²	N	kNm	kN	V _{Sd,max}	V _{2(PGA=1)}	V _{3(PGA=1)}	V _{2,grav}	V _{3,grav}	VRd > V _{Sd,max}	
P17	0	Max	3.35	350	350	603	603	430814	55.13	81.19	32.91	224.29	275.85	-3.226	-4.594	VERIFICATO	-
	3.45	Min	3.35	350	350	603	603	430814	-55.13	-81.19		-224.29	-275.85	-3.226	-4.594	VERIFICATO	-
	0	Min	3.35	350	350	603	603	430814	-55.13	-81.19	32.91	224.29	275.85	-3.226	-4.594	VERIFICATO	-
	3.45	Max	3.35	350	350	603	603	430814	55.13	81.19		224.29	275.85	-3.226	-4.594	VERIFICATO	-
P18	0	Max	3.35	350	350	603	603	556555	63.57	81.19	37.96	277.43	148.19	0.039	-3.793	VERIFICATO	-
	3.45	Min	3.35	350	350	603	603	556555	-63.57	-81.19		-277.43	-148.19	0.039	-3.793	VERIFICATO	-
	0	Min	3.35	350	350	603	603	556555	-63.57	-81.19	37.96	277.43	148.19	0.039	-3.793	VERIFICATO	-
	3.45	Max	3.35	350	350	603	603	556555	63.57	81.19		277.43	148.19	0.039	-3.793	VERIFICATO	-
P19	0	Max	3.35	350	350	603	603	432363	55.25	81.19	32.99	270.46	101.51	1.156	-0.244	VERIFICATO	-
	3.45	Min	3.35	350	350	603	603	432363	-55.25	-81.19		-270.46	-101.51	1.156	-0.244	VERIFICATO	-
	0	Min	3.35	350	350	603	603	432363	-55.25	-81.19	32.99	270.46	101.51	1.156	-0.244	VERIFICATO	-
	3.45	Max	3.35	350	350	603	603	432363	55.25	81.19		270.46	101.51	1.156	-0.244	VERIFICATO	-
P20	0	Max	3.35	350	350	603	603	376443	50.40	81.19	30.09	276.23	100.25	-0.009	-0.017	VERIFICATO	-
	3.45	Min	3.35	350	350	603	603	376443	-50.40	-81.19		-276.23	-100.25	-0.009	-0.017	VERIFICATO	-
	0	Min	3.35	350	350	603	603	376443	-50.40	-81.19	30.09	276.23	100.25	-0.009	-0.017	VERIFICATO	-
	3.45	Max	3.35	350	350	603	603	376443	50.40	81.19		276.23	100.25	-0.009	-0.017	VERIFICATO	-
P21	0	Max	3.35	350	350	603	603	432358	55.25	81.19	32.99	270.58	109.15	-1.179	-0.240	VERIFICATO	-
	3.45	Min	3.35	350	350	603	603	432358	-55.25	-81.19		-270.58	-109.15	-1.179	-0.240	VERIFICATO	-
	0	Min	3.35	350	350	603	603	432358	-55.25	-81.19	32.99	270.58	109.15	-1.179	-0.240	VERIFICATO	-
	3.45	Max	3.35	350	350	603	603	432358	55.25	81.19		270.58	109.15	-1.179	-0.240	VERIFICATO	-
P22	0	Max	3.35	350	350	603	603	557633	63.63	81.19	37.99	277.77	169.15	-0.061	-3.771	VERIFICATO	-
	3.45	Min	3.35	350	350	603	603	557633	-63.63	-81.19		-277.77	-169.15	-0.061	-3.771	VERIFICATO	-
	0	Min	3.35	350	350	603	603	557633	-63.63	-81.19	37.99	277.77	169.15	-0.061	-3.771	VERIFICATO	-
	3.45	Max	3.35	350	350	603	603	557633	63.63	81.19		277.77	169.15	-0.061	-3.771	VERIFICATO	-
P23	0	Max	3.35	350	350	603	603	433074	55.31	81.19	33.02	226.21	278.35	3.208	-4.379	VERIFICATO	-
	3.45	Min	3.35	350	350	603	603	433074	-55.31	-81.19		-226.21	-278.35	3.208	-4.379	VERIFICATO	-
	0	Min	3.35	350	350	603	603	433074	-55.31	-81.19	33.02	226.21	278.35	3.208	-4.379	VERIFICATO	-
	3.45	Max	3.35	350	350	603	603	433074	55.31	81.19		226.21	278.35	3.208	-4.379	VERIFICATO	-

CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

Meccanismi fragili

TRAVI e PILASTRI: determinazione dell'accelerazione che determina il collasso a taglio allo SLV ad un piano

Analizzando tutte le travi e tutti i pilastri (in entrambe le direzioni x e y), si ottiene che in alcune travi (travi T07; T08; T09; T11; T12 e T13) il taglio resistente è minore del taglio dovuto ai carichi gravitazionali, per cui si assume che il collasso per meccanismi fragili taglianti del I impalcato avvenga per qualunque valore di accelerazione sismica maggiore di zero ($\alpha = 0 \text{ g}$).



Per i pilastri, invece, l'accelerazione che determina il primo collasso a taglio è sempre maggiore di **1.00 g**.

LIVELLO DI VULNERABILITA' A TAGLIO PER IL PRIMO IMPALCATO (SLV)

MECCANISMI FRAGILI

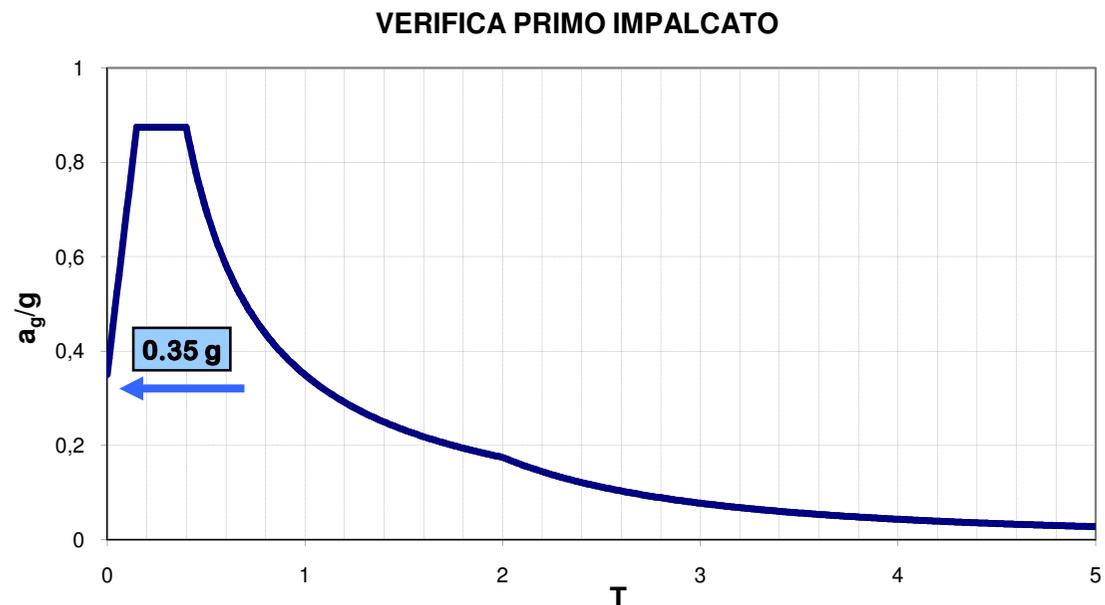
In termini pratici, dopo aver determinato il moltiplicatore dell'accelerazione che identifica il sisma che sarebbe sopportato (in termini di rotazione) da quel piano, abbiamo applicato una accelerazione di aggancio pari a:

$$PGA_{SLV} = a_g \cdot S \cdot \gamma_I \cdot \left(\frac{V_{RD} - V_{grav}}{V_{PGA=1}} \right)_{\min} = a_{g_PGA=1} \cdot S \cdot \gamma_I \cdot \alpha_e = 1g \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 0 = 0g$$

Per determinare l'indice di rischio, il valore 0,25 va quindi diviso per l'accelerazione di aggancio allo spettro:

$$I_{R_SLV} = \frac{PGA_{DS}}{PGA_{10\%}} = \frac{0}{0.35} = 0$$

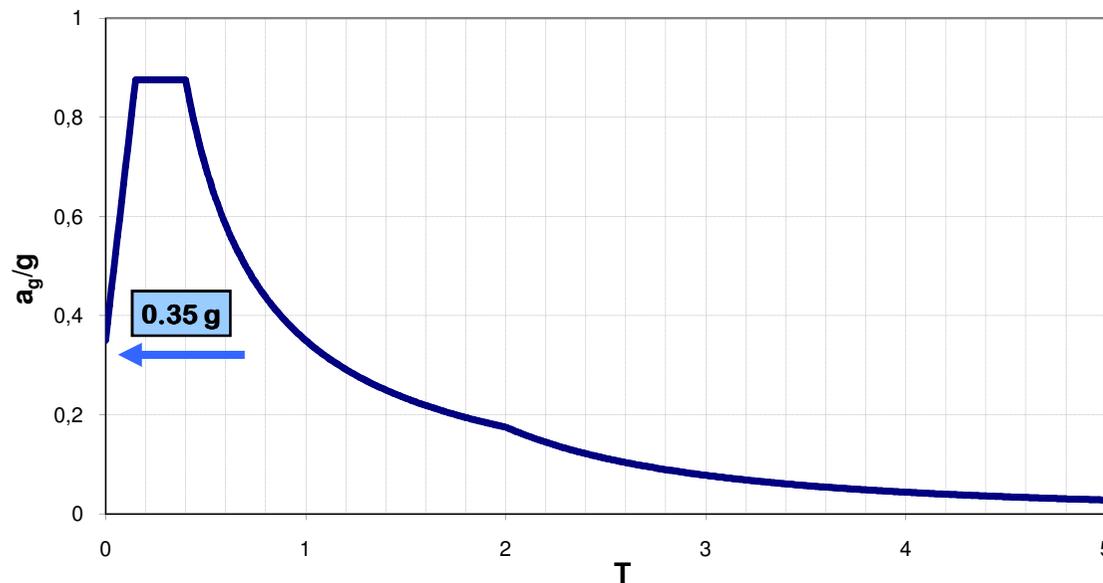
In termini grafici lo spettro che permetterebbe la verifica è il seguente:



LIVELLO DI VULNERABILITA' A TAGLIO PER IL PRIMO IMPALCATO (SLV)

MECCANISMI FRAGILI

VERIFICA PRIMO IMPALCATO :



Indice di rischio SLV*

$$I_{R_DS} = \frac{PGA_{DS}}{PGA_{10\%}}$$

PGA_{SLV} = moltiplicatore dell'accelerazione che provoca il raggiungimento della **rotazione** allo SLV o del **taglio** allo SLV ad un piano

$PGA_{10\%}$ = accelerazione al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

I_{R_DS} = indice di vulnerabilità (o livello di rischio) allo SLV

LIVELLO DI VULNERABILITA' PER IL PRIMO IMPALCATO (SL-DS)

$$I_{R_SLV} = \frac{PGA_{SLV}}{PGA_{10\%}} = \frac{0}{0.35} = 0$$

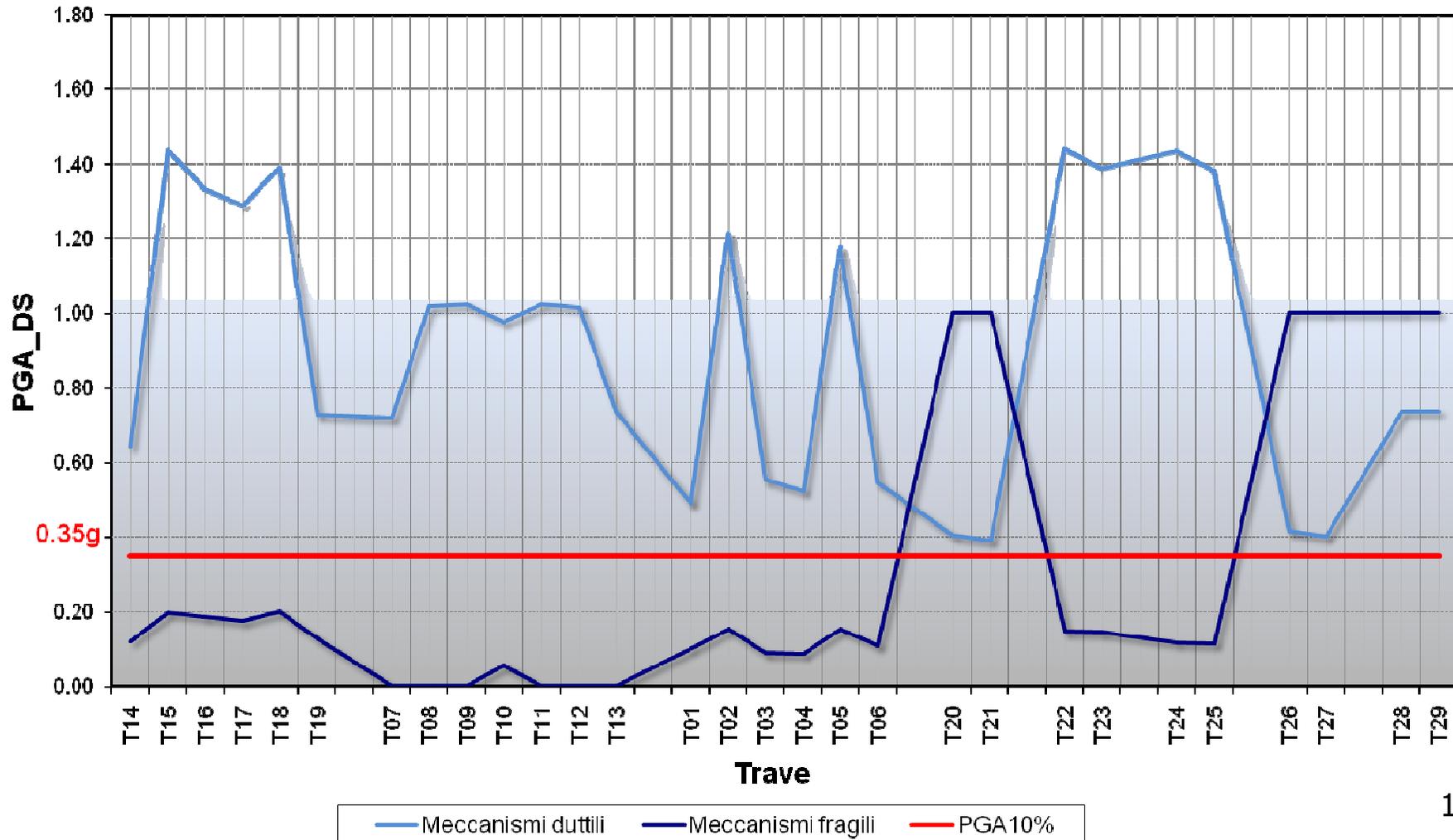
- * **NOTA:** per definire il livello di vulnerabilità allo SLV non è necessario definire il moltiplicatore dell'accelerazione che provoca il raggiungimento del collasso a **taglio**. Tuttavia nella determinazione dell'indice di rischio si è voluto ugualmente tener conto del fatto che il collasso a taglio può avvenire prima di quello a pressoflessione

CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

Le travi vanno in crisi a causa dei meccanismi fragili dovuti al taglio prima che gli elementi strutturali possano attingere alle proprie risorse duttili

TRAVI

ACCELERAZIONE CHE DETERMINA IL RAGGIUNGIMENTO DELLO SLV

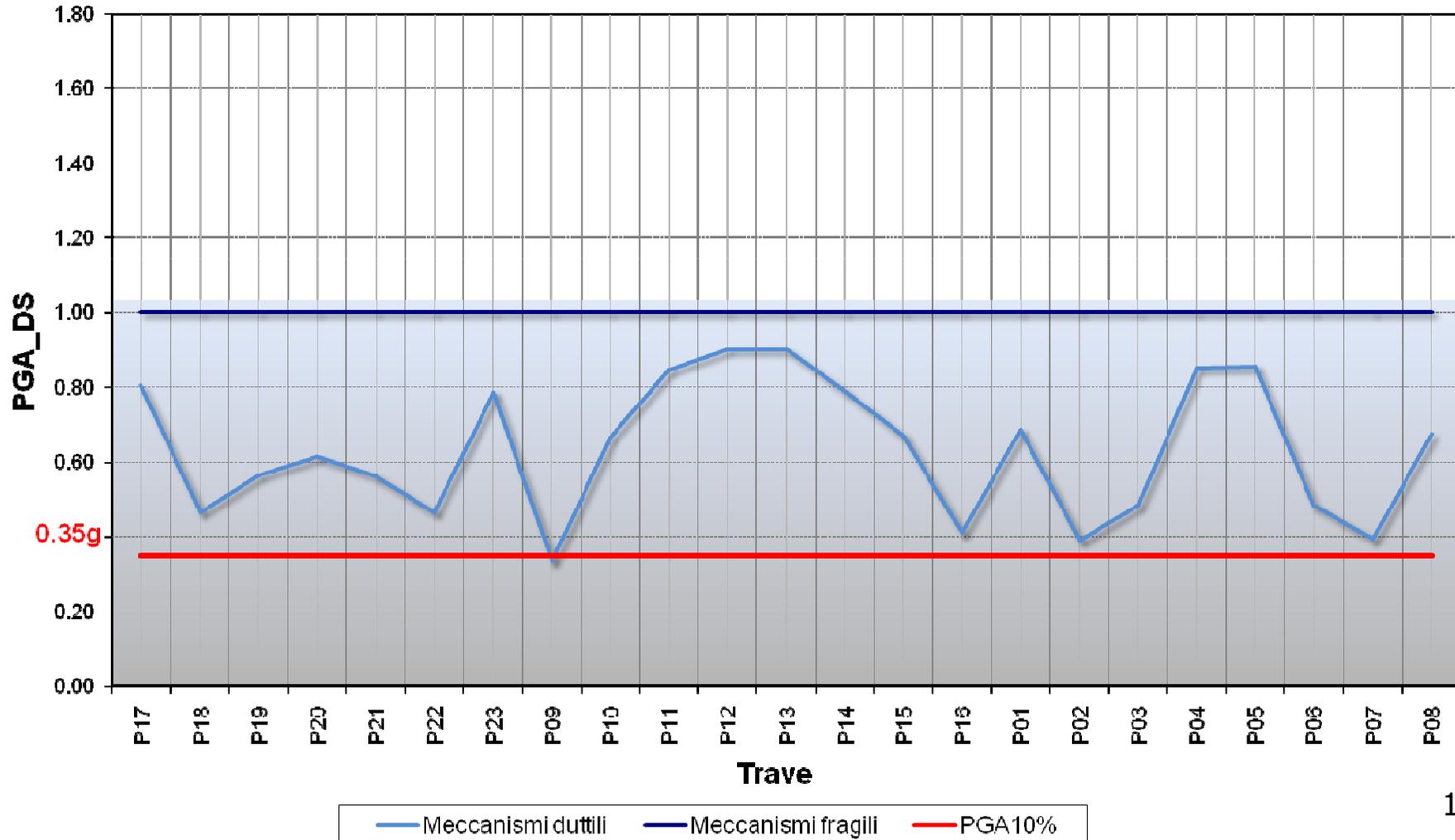


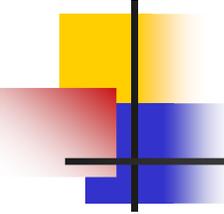
CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

PILASTRI

I pilastri vanno in crisi a causa dei meccanismi duttili (formazione delle cerniere plastiche) prima che sopraggiunga la crisi per taglio

ACCELERAZIONE CHE DETERMINA IL RAGGIUNGIMENTO DELLO SLV





EDIFICI STRATEGICI

ANALISI DI LIVELLO 1

PRIMO IMPALCATO

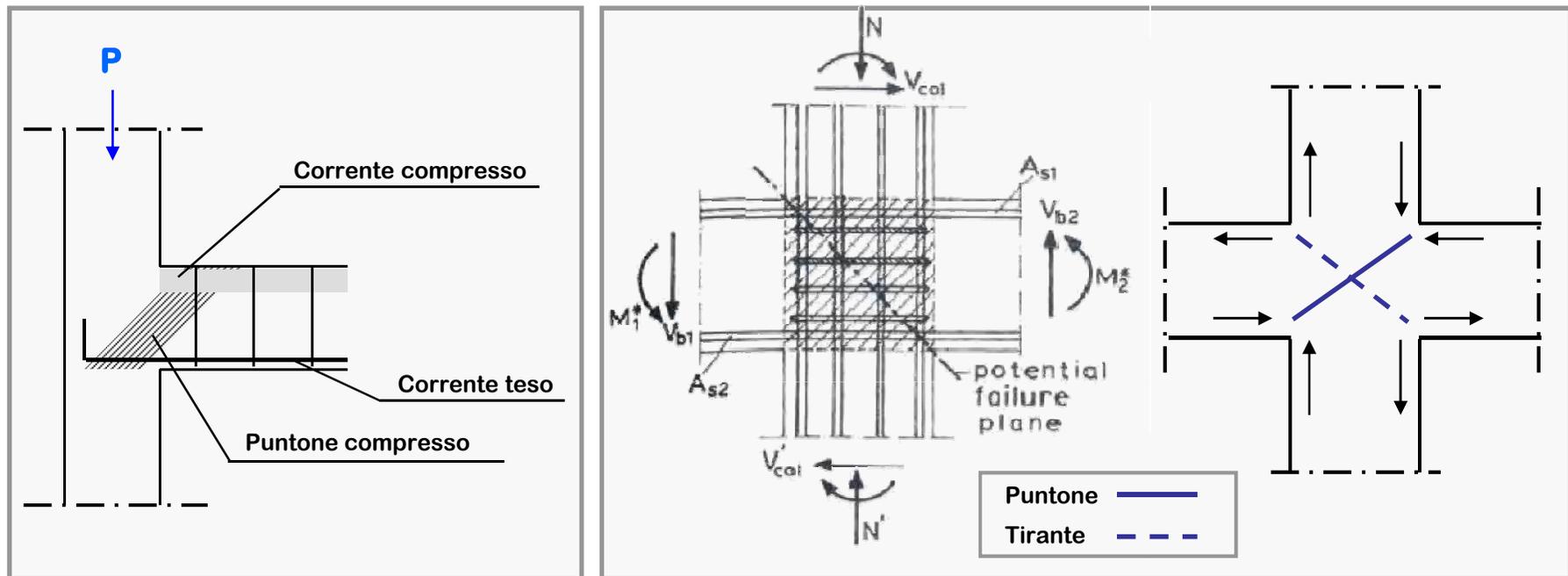
- **Meccanismi duttili**
 - Determinazione della domanda (meccanismi duttili)
 - Determinazione della capacità (meccanismi duttili)
 - Confronto tra domanda e capacità
 - Livello di vulnerabilità SL-DS per il primo impalcato

- **Meccanismi fragili**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

- **Nodi Trave - Pilastro**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

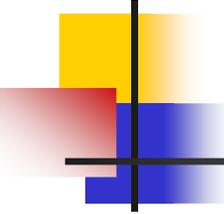
NODI TRAVE - PILASTRO

La verifica di resistenza deve essere eseguita solo per i nodi non interamente confinati



Il taglio totale all'interno del nodo è sopportato da un puntone diagonale in cls e da un tirante che, in assenza di adeguata armatura, è costituito anch'esso da cls.

Per questi motivi le NTC 2008 (C8.7.2.5) richiedono di tenere sotto controllo la **resistenza a compressione e a trazione diagonale interna al nodo**, coinvolgendo sia la resistenza a compressione che quella a trazione del calcestruzzo (in assenza di adeguata armatura).



EDIFICI STRATEGICI

ANALISI DI LIVELLO 1

PRIMO IMPALCATO

- **Meccanismi duttili**
 - Determinazione della domanda (meccanismi duttili)
 - Determinazione della capacità (meccanismi duttili)
 - Confronto tra domanda e capacità
 - Livello di vulnerabilità SL-DS per il primo impalcato

- **Meccanismi fragili**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

- **Nodi Trave - Pilastro**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA'

Meccanismi fragili - Nodi trave - pilastro

C8.7.2.5 Modelli di capacità per la valutazione di edifici in cemento armato - Nodi trave - pilastro

RESISTENZA A TRAZIONE

$$\sigma_{nt} = \left| \frac{N}{2A_g} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \right| \leq 0.3\sqrt{f_c}$$

Resistenza a trazione diagonale \leq
Capacità limite a trazione diagonale

RESISTENZA A COMPRESSIONE

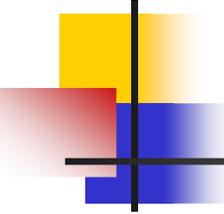
$$\sigma_{nc} = \frac{N}{2A_g} + \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \leq 0.5 \cdot f_c$$

Resistenza a compressione diagonale \leq
Capacità limite a compressione diagonale

N azione assiale derivante dal pilastro superiore

V_n taglio totale agente sul nodo

A_g sezione orizzontale del nodo (zona di pilastro che si incrocia con le travi concorrenti)



EDIFICI STRATEGICI

ANALISI DI LIVELLO 1

PRIMO IMPALCATO

- **Meccanismi duttili**
 - Determinazione della domanda (meccanismi duttili)
 - Determinazione della capacità (meccanismi duttili)
 - Confronto tra domanda e capacità
 - Livello di vulnerabilità SL-DS per il primo impalcato

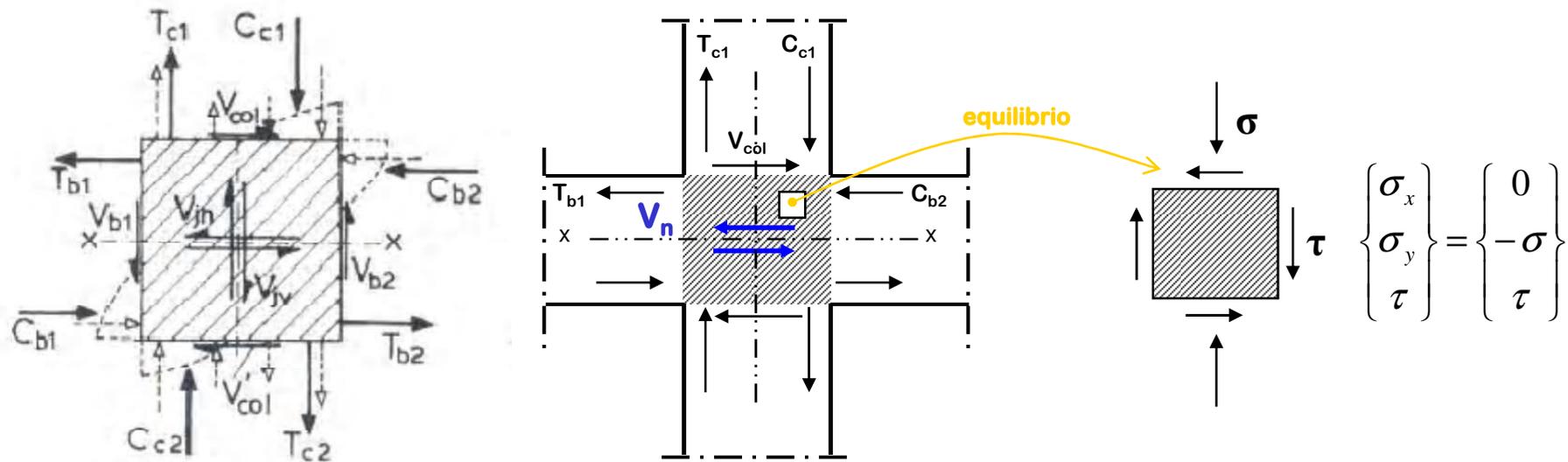
- **Meccanismi fragili**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

- **Nodi Trave - Pilastro**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA

Meccanismi fragili - Nodi trave - pilastro

Resistenza a compressione e a trazione diagonale



Tensioni principali di compressione e di trazione

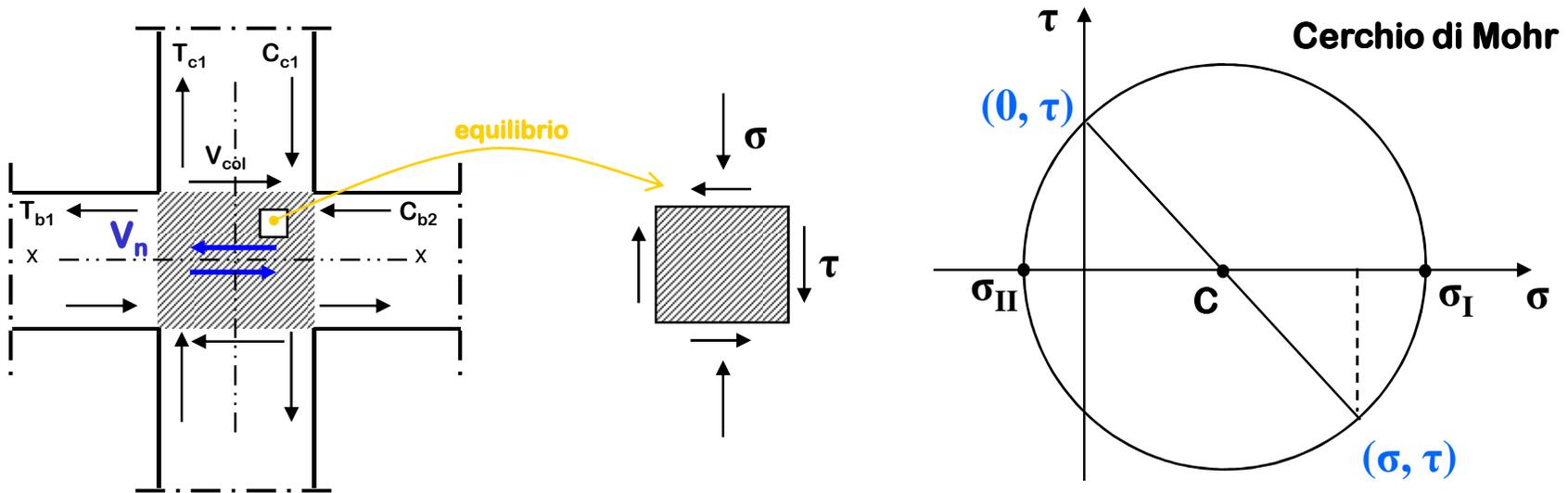
$$\begin{bmatrix} \sigma & \tau \\ \tau & 0 \end{bmatrix} \text{ Per trovare le tensioni principali usiamo } \lambda \Rightarrow \begin{bmatrix} \sigma - \lambda & \tau \\ \tau & -\lambda \end{bmatrix} \Rightarrow \lambda^2 - \lambda\sigma - \tau^2 = 0 \Rightarrow \lambda_{I,II} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma = \frac{N}{A_g}; \tau = \frac{V_n}{A_g} \Rightarrow \sigma_{nc} = \frac{N}{2A_g} + \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \quad \sigma_{nt} = \left| \frac{N}{2A_g} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \right|$$

DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA

Meccanismi fragili - Nodi trave - pilastro

Resistenza a compressione e a trazione diagonale



Tensioni principali di compressione e di trazione

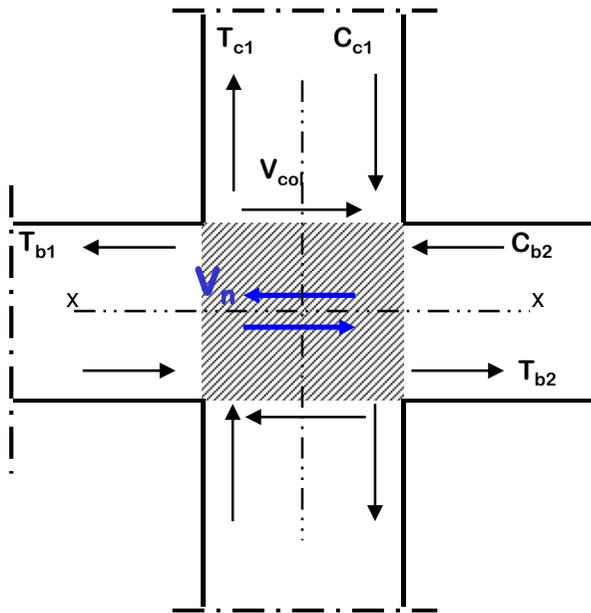
$$R = \sqrt{\tau^2 + \left(\frac{\sigma}{2}\right)^2} \quad C = \left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 \quad \Rightarrow \quad \sigma_{I,II} = \frac{\sigma}{2} \pm R \quad \Rightarrow \quad \sigma_{I,II} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma = \frac{N}{A_g}; \tau = \frac{V_n}{A_g} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{nc} = \frac{N}{2A_g} + \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \quad \sigma_{nt} = \left| \frac{N}{2A_g} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \right|$$

DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA

Meccanismi fragili - Nodi trave - pilastro

Determinazione del taglio totale agente sul nodo



- V_n Taglio totale agente sul nodo
- V_{col} Taglio derivante dall'azione presente nel pilastro superiore (PGA=1) (?????)
- F_t Forza di trazione sviluppata dalle barre sollecitate a trazione nelle travi

Per l'equilibrio in direzione x-x si avrà:

$$V_n = T_{b1} + C_{b2} - V_{col}$$

C = compressione
T = trazione

Uguagliando compressione C_{b2} e trazione T_{b2}

$$V_n = T_{b1} + T_{b2} - V_{col}$$

Ipotizzando che le armature a trazione delle travi snervino

TAGLIO TOTALE AGENTE SUL NODO

$$V_n = f_{y1} A_{s1} + f_{y2} A_{s2} - V_{col}$$

Nodi interni

$$V_n = f_{y1} A_{s1} - V_{col}$$

Nodi esterni

$$V_n = F_t - V_{col}$$

$$V_n = F_t - V_{col}$$

DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA

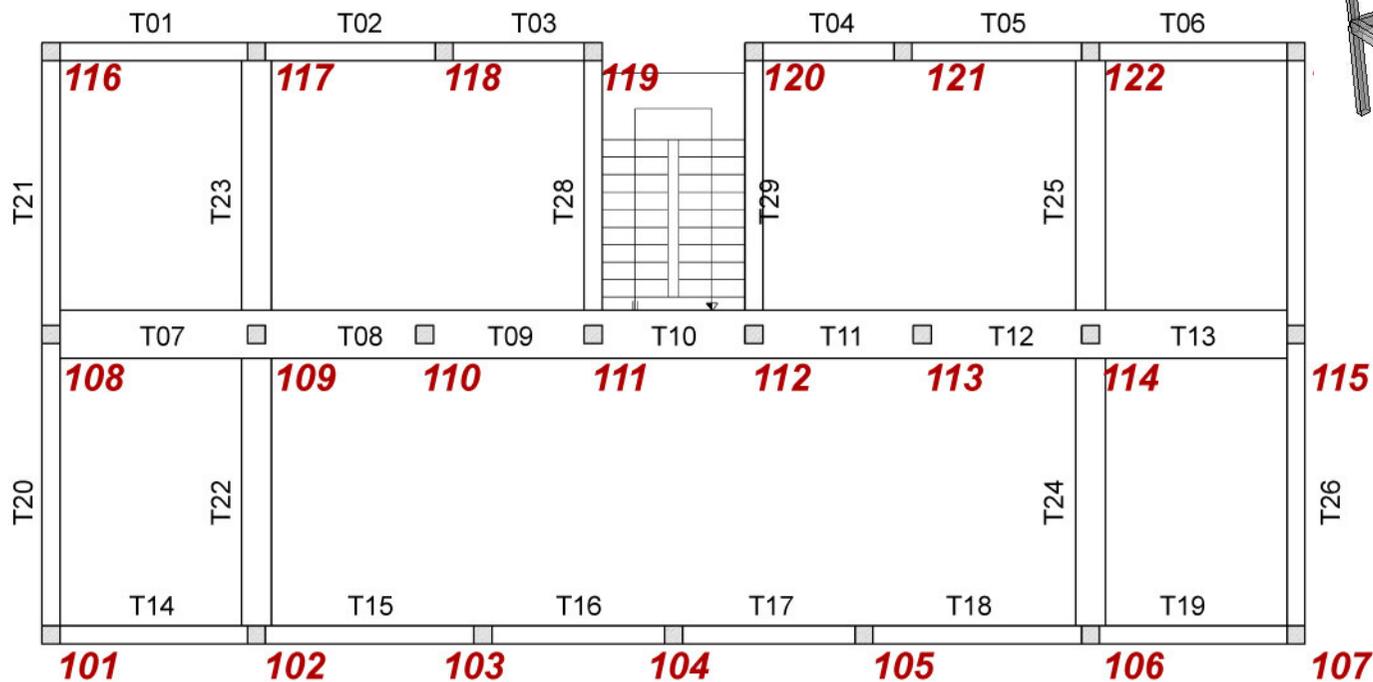
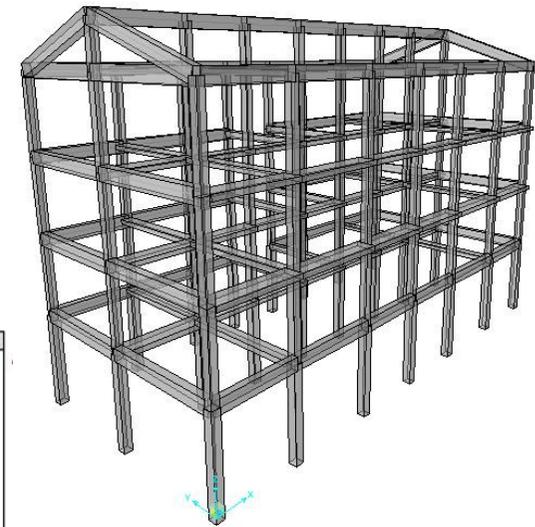
Meccanismi fragili - Nodi trave - pilastro

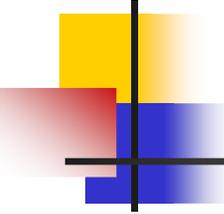
C8.7.2.5 Modelli di capacità per la valutazione di edifici in cemento armato - Nodi trave - pilastro

“La verifica di resistenza deve essere eseguita solo per i nodi non interamente confinati”

NODI CONFINATI: 109 - 114

NODI NON INTERAMENTE CONFINATI: tutti gli altri





EDIFICI STRATEGICI

ANALISI DI LIVELLO 1

PRIMO IMPALCATO

- **Meccanismi duttili**
 - Determinazione della domanda (meccanismi duttili)
 - Determinazione della capacità (meccanismi duttili)
 - Confronto tra domanda e capacità
 - Livello di vulnerabilità SL-DS per il primo impalcato

- **Meccanismi fragili**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Confronto tra domanda e capacità (meccanismi fragili)

- **Nodi Trave - Pilastro**
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)
 - Determinazione della domanda (meccanismi fragili)
 - Determinazione della capacità (meccanismi fragili)

CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

Meccanismi fragili - Nodi trave - pilastro

$$\sigma_{nt}, \sigma_{nc} = \sigma(\text{snervamento acciaio})$$

$$\sigma_{t,lim}, \sigma_{c,lim} = \sigma(\text{rottura cls})$$

- **CASO 1:** $\sigma_{nc}, \sigma_{nt} < \sigma_{nc,lim}, \sigma_{nt,lim}$

$$\sigma_{nc} < \sigma_{c,lim}$$

$$\sigma_{nt} < \sigma_{t,lim}$$

SNERV. ACCIAIO TRAVI precede ROTTURA CLS NODO

DOMANDA < CAPACITA'

VERIFICA
SODDISFATTA

- **CASO 2:** $\sigma_{nc}, \sigma_{nt} > \sigma_{nc,lim}, \sigma_{nt,lim}$

$$\sigma_{nc} > \sigma_{c,lim}$$

$$\sigma_{nt} > \sigma_{t,lim}$$

ROTTURA CLS NODO precede SNERV. ACCIAIO TRAVI

DOMANDA > CAPACITA'

VERIFICA NON
SODDISFATTA

DETERMINAZIONE DELLA PGA CHE
DETERMINA IL COLLASSO DEL NODO

CONFRONTO TRA DOMANDA E CAPACITA'

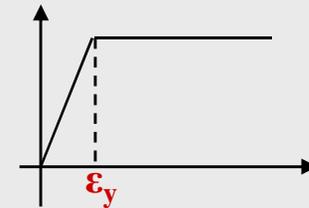
Meccanismi fragili - Nodi trave - pilastro

- CASO 2: $\sigma_{nc}, \sigma_{nt} > \sigma_{nc,lim}, \sigma_{nt,lim}$

PGA CHE DETERMINA LA ROTTURA DEL NODO ($PGA_{nodo,rott}$)

$$1) \max \left(\frac{\sigma_{nc}}{\sigma_{c,lim}}, \frac{\sigma_{nt}}{\sigma_{t,lim}} \right)$$

$$2) PGA(\sigma_{nc}) \Rightarrow \begin{array}{l} \text{PGA corrispondente a } \varepsilon_s = \varepsilon_y \text{ (snervamento) cioè} \\ \text{PGA corrispondente a } \theta_y \end{array}$$



$$3) PGA_{nodo,rott} = PGA_{nc} \left(\frac{\sigma_{c,lim}}{\sigma_{nc}} \right)$$

LIVELLO DI VULNERABILITA' PER IL COLLASSO DEI NODI DEL PRIMO IMPALCATO (SL-DS)

$$4) I_{R_DS} = \frac{PGA_{nodo,rott}}{PGA_{10\%}}$$

VERIFICA NODI PRIMO IMPALCATO

Verifica nodi primo impalcato (direzione x)

NODI	Travi	Geometria sezione travi		Armatura travi		N col. sup. (Gk+0.3 Qk)	Forza di trazione barre tese	Taglio col. sup. E(PGA=1)	Taglio tot. nodo	Sez. nodo	DOMANDA (carichi sismici)		CAPACITA'		VERIFICA		ACCELERAZIONE CHE DETERMINA LO SL-DS DEL NODO				
		b	h	As	A's						σ_{nc}	σ_{nt}	$\sigma_{c,lim}$	$\sigma_{t,lim}$	$\sigma_{nc} < \sigma_{c,lim}$	$\sigma_{nt} < \sigma_{t,lim}$	$\sigma_{nc} / \sigma_{c,lim}$	$\sigma_{nt} / \sigma_{t,lim}$	PGA (snervam. acciaio)	PGA _{nodo, coll}	I _{R_DS}
NODO direz. x	Trave	mm	mm	mm ²	mm ²	kN	kN	kN	kN	mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²							
101	T14	300	500	308	616	-333.33	115.17	152.90	37.73	105000	0.04	3.21	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	3.41	0.54	0.157	0.449
102	T14	300	500	308	616	-409.65	345.50	224.06	121.43	105000	0.32	4.22	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	4.47	1.21	0.269	0.770
	T15	300	500	616	308																
103	T15	300	500	308	616	-319.56	345.50	217.77	127.73	105000	0.43	3.47	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	3.68	1.77	0.481	1.374
	T16	300	500	616	308																
104	T16	300	500	308	616	-279.54	345.50	228.50	116.99	105000	0.40	3.07	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	3.25	1.14	0.351	1.002
	T17	300	500	616	308																
105	T17	300	500	308	616	-319.54	345.50	218.14	127.35	105000	0.42	3.47	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	3.68	1.03	0.280	0.800
	T18	300	500	616	308																
106	T18	300	500	308	616	-410.68	345.50	224.43	121.07	105000	0.31	4.23	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	4.48	0.49	0.110	0.315
	T19	300	500	616	308																
107	T19	300	500	308	616	-333.73	115.17	149.93	34.76	105000	0.03	3.21	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	3.41	0.62	0.181	0.518
108	T07	800	200	924	924	-448.68	345.50	89.94	255.55	122500	0.94	4.61	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	4.89	0.64	0.132	0.376
109	T07	800	200	924	924	-517.74	690.99	157.77	533.22	122500	2.73	6.95	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	7.37	0.89	0.120	0.344
	T08	800	200	924	924																
110	T08	800	200	924	924	-387.79	690.99	158.62	532.38	122500	3.04	6.21	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	6.58	0.90	0.137	0.391
	T09	800	200	924	924																
111	T09	800	200	924	924	-355.62	690.99	166.89	524.11	122500	3.07	5.97	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	6.33	0.85	0.135	0.385
	T10	800	200	924	924																
112	T10	800	200	924	924	-355.65	690.99	166.73	524.26	122500	3.07	5.97	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	6.33	0.85	0.135	0.385
	T11	800	200	924	924																
113	T11	800	200	924	924	-387.86	690.99	158.55	532.44	122500	3.04	6.21	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	6.58	0.90	0.137	0.391
	T12	800	200	924	924																
114	T12	800	200	924	924	-518.69	690.99	156.91	534.08	122500	2.73	6.96	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	7.38	0.88	0.120	0.342
	T13	800	200	924	924																
115	T13	800	200	924	924	-444.32	345.50	83.28	262.21	122500	0.99	4.62	4.94	0.94	VERIFICATO	NON VERIFICATO	-	4.90	0.66	0.134	0.383

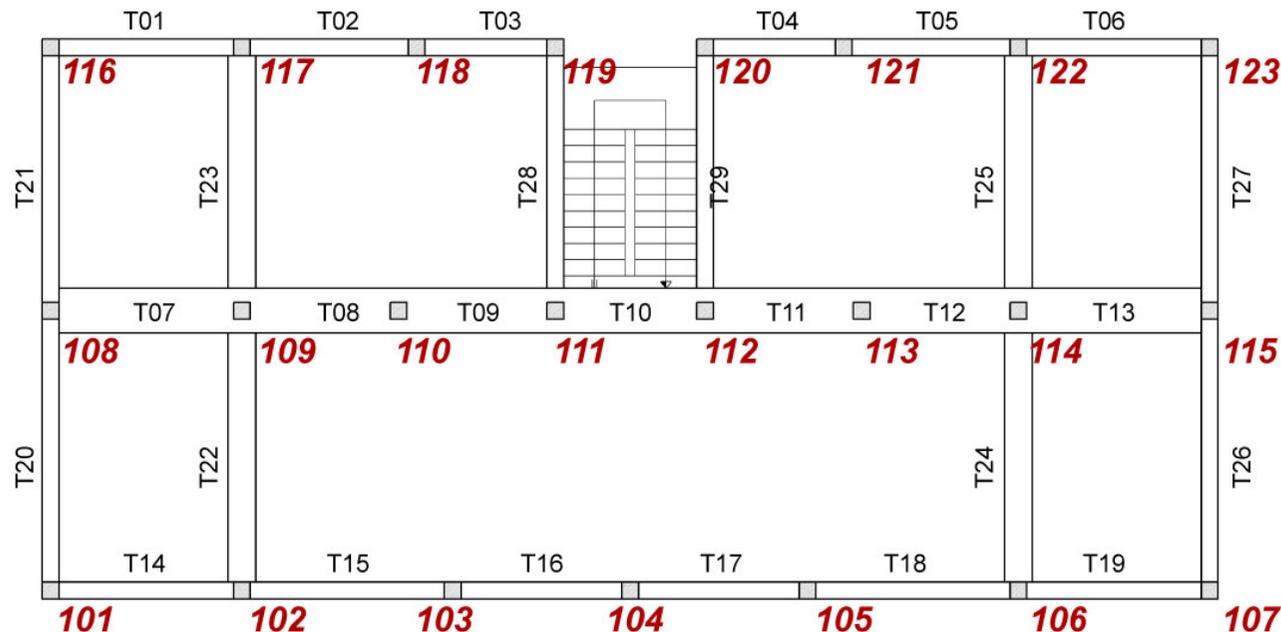
Nota: il contributo dovuto ai carichi gravitazionali è stato considerato nella determinazione della PGA che porta allo snervamento dell'acciaio

DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA

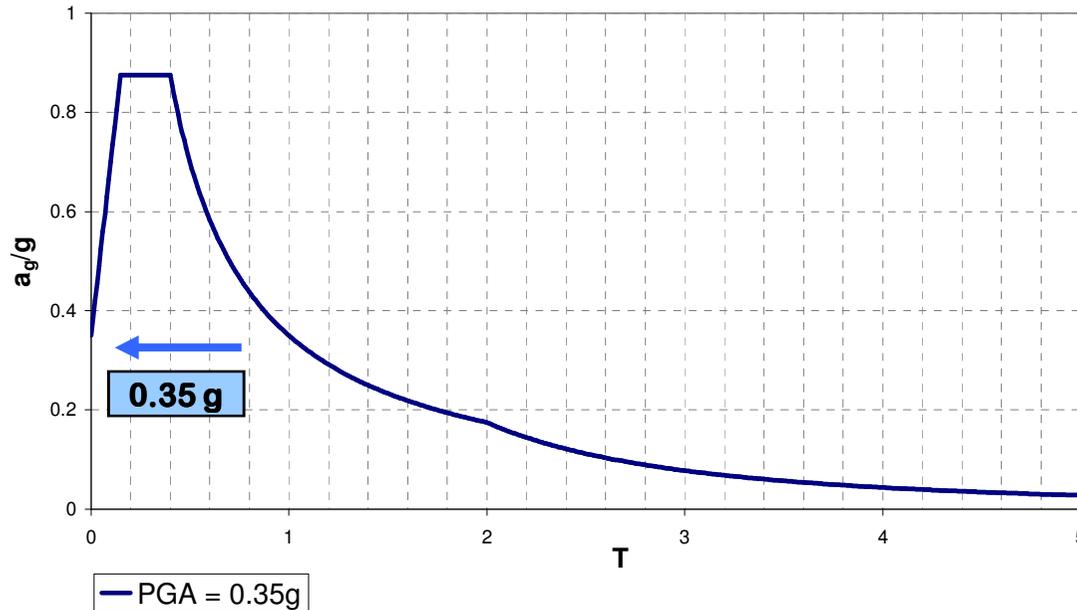
Meccanismi fragili - Nodi trave - pilastro

NODI TRAVE - PILASTRO: determinazione dell'accelerazione che determina il collasso a taglio allo SL-DS ad un piano

Analizzando tutti i nodi del primo impalcato (in direzione x), si ottiene che l'accelerazione sismica minima che determina il primo collasso di un nodo è **0.10 g**. Essa viene riscontrata nel nodo 123.



VERIFICA NODI PRIMO IMPALCATO



Indice di Rischio

$$I_{R_SLV} = \frac{PGA_{nodo,coll}}{PGA_{10\%}}$$

PGA_{SLV} = moltiplicatore dell'accelerazione che provoca il raggiungimento della crisi dei nodi allo SLV ad un piano

$PGA_{10\%}$ = accelerazione al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

I_{R_DS} = livello di vulnerabilità (o indice di rischio)

LIVELLO DI VULNERABILITA' PER IL COLLASSO DEI NODI DEL PRIMO IMPALCATO (SLV)

$$I_{R1_SLV} = \frac{PGA_{nodi,coll}}{PGA_{10\%}} = \frac{0.10}{0.35} = 0.28$$