



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura

Nuove prospettive all'analisi statica non lineare per edifici esistenti in c.a.
Il caso studio della scuola "S. Giovanni Bosco" di Canosa di Puglia

Laureanda:
Caporale Maria Carmela

Relatore:
Prof. Ing. Lenci Stefano

Correlatori:
Ing. Clementi Francesco
Ing. Di Sciasco Giovanni

A.A. 2015/2016

Insieme **conseguenze** associabili ad un sisma



Rischio sismico



Esposizione

+

Pericolosità

+

Vulnerabilità



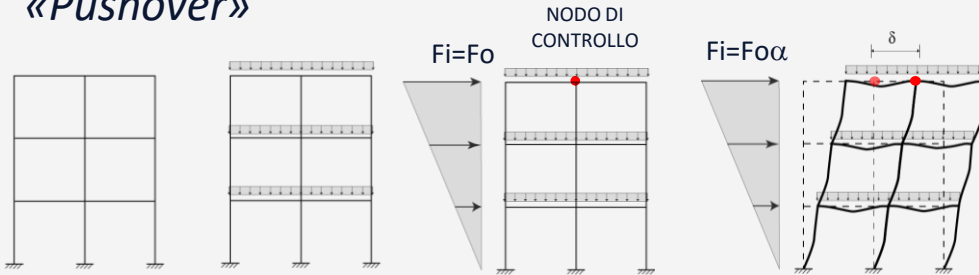
- ✓ Propensione di un sistema al danno o alla perdita a seguito di un sisma
- ✓ Stime «affidabili» della vulnerabilità sono il primo passo per ridurre l'impatto sismico sulle **strutture esistenti**
 - ✓ Metodi meccanicistici

EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

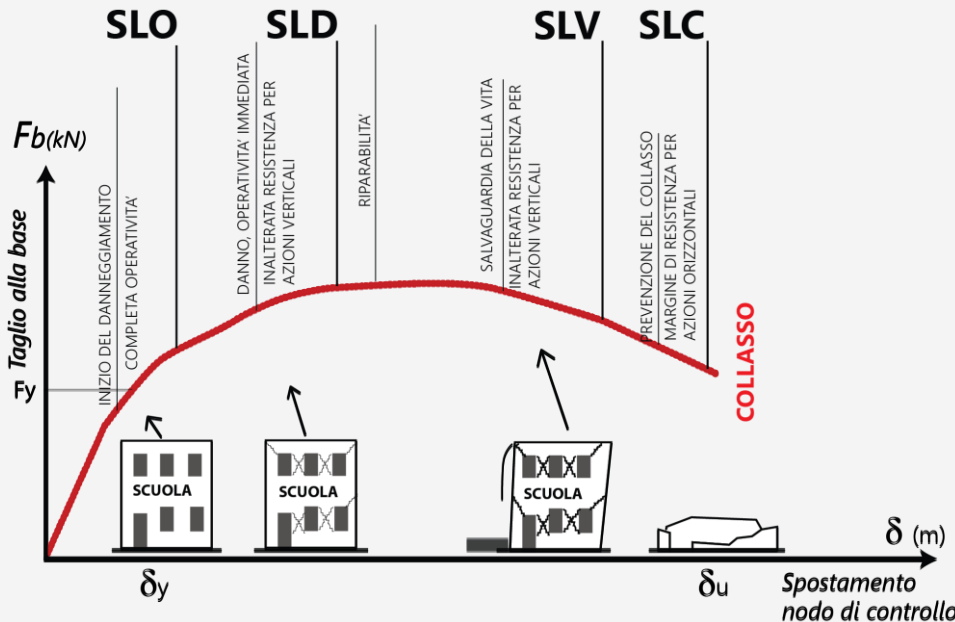


ANALISI STATICA NON LINEARE
Equilibrio statico+Comportamento non lineare

«Pushover»



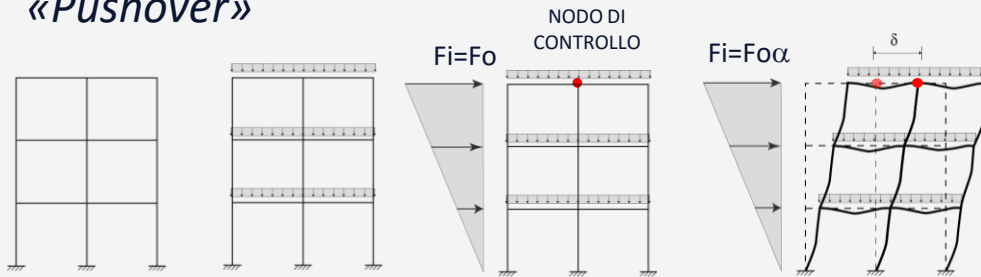
- ✓ Applicazione carichi gravitazionali e una distribuzione di forze orizzontali simulanti il sisma incrementate monotonamente per step fino al collasso
- ✓ Controllo spostamento **nodo di controllo**
- ✓ Definizione del comportamento non lineare attraverso **plasticità diffusa** o **concentrata**



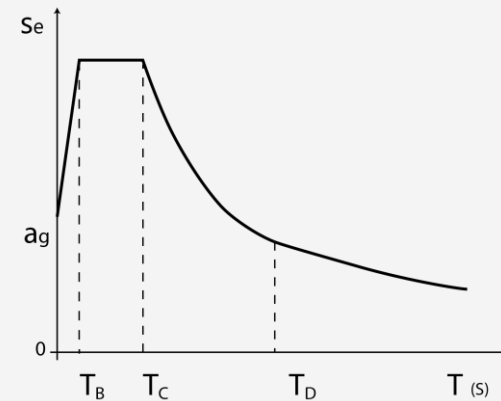
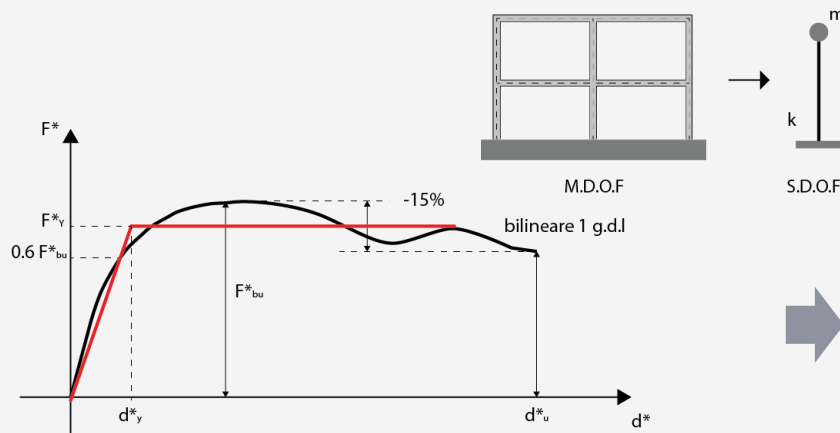
CURVA DI CAPACITÀ

Ogni punto rappresenta uno **STATO DI DANNO** della struttura

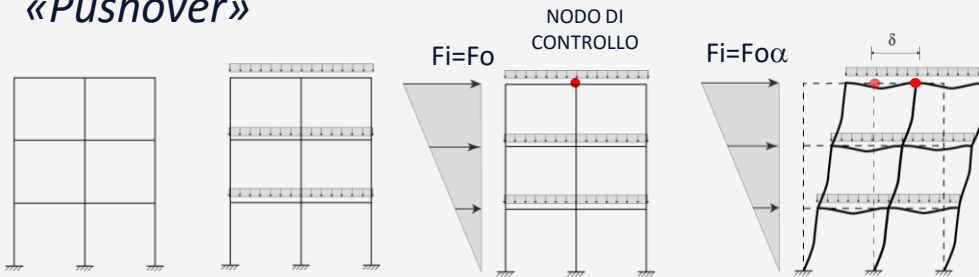
«Pushover»



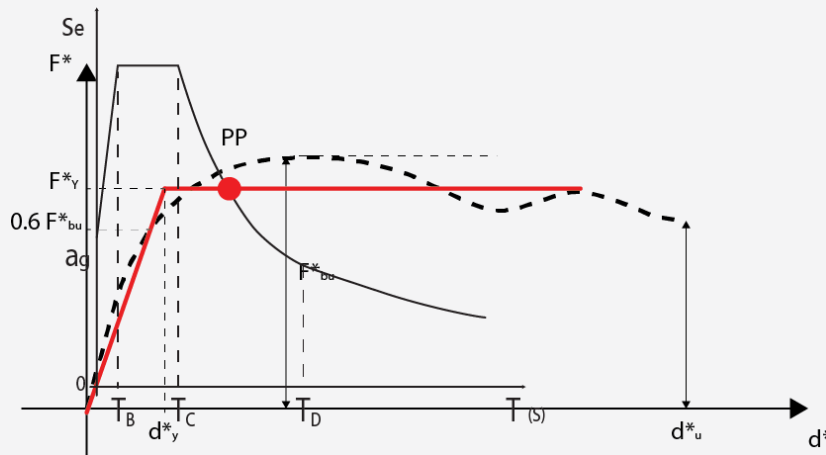
- ✓ Applicazione carichi gravitazionali e una distribuzione di forze orizzontali simulanti il sisma incrementate monotonamente per step fino al collasso
- ✓ Controllo spostamento **nodo di controllo**
- ✓ Definizione del comportamento non lineare attraverso **plasticità diffusa** o **concentrata**
- ✓ Passaggio all'**oscillatore equivalente** e **bilinearizzazione**
- ✓ Confronto con la reale **domanda sismica**



«Pushover»



- ✓ Applicazione carichi gravitazionali e una distribuzione di forze orizzontali simulanti il sisma incrementate monotonamente per step fino al collasso
- ✓ Controllo spostamento **nodo di controllo**
- ✓ Definizione del comportamento non lineare attraverso **plasticità diffusa** o **concentrata**
- ✓ Passaggio all'**oscillatore equivalente** e **bilinearizzazione**
- ✓ Confronto con la reale **domanda sismica**
- ✓ Individuazione del **punto di prestazione**



Si distinguono **2 approcci**:

- ✓ **Approccio classico**
(Ntc 2008, Circolare n.617)
- ✓ **Approccio 2**
(osservazioni Dt212/2013, Eurocodice 8)



Introduzione

Obiettivi

Il caso studio

Analisi

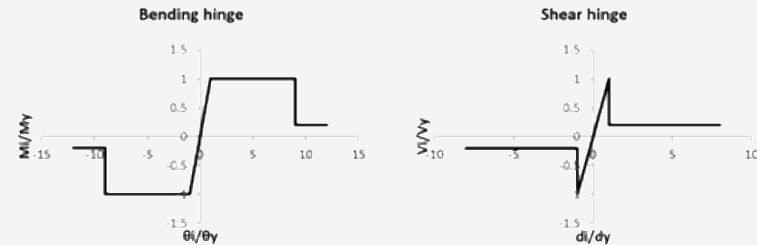
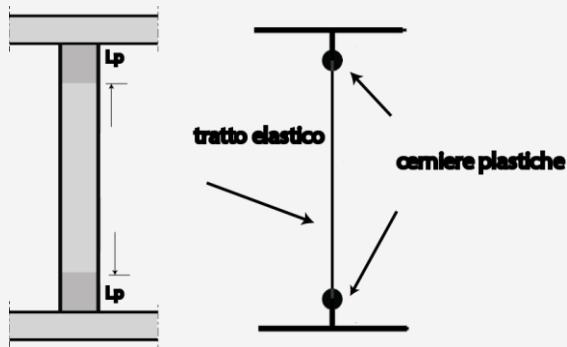
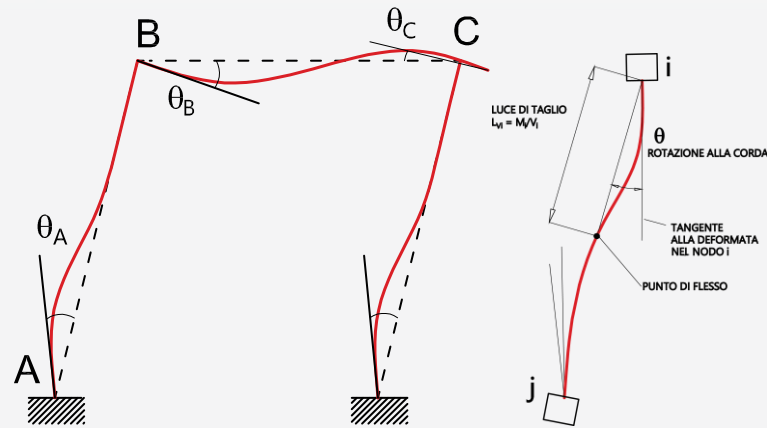
Confronti

Conclusioni

Approccio classico (Ntc 2008, Circolare n.617)

✓ Modello a **plasticità concentrata**

Diagrammi $M-\theta$
Cerniere a **flessione** e a **taglio** separate
Luce di taglio costante $L_v=L/2$



✓ È l'approccio implementato nella **maggior parte dei codici di calcolo**

Approccio classico (Ntc 2008, Circolare n.617)

- ✓ Modello a **plasticità concentrata**

Diagrammi **M- θ**
Cerniere a **flessione** e a **taglio separate**
Luce di taglio costante **Lv=L/2**



Vantaggi

- ✓ Basso onere computazionale

Svantaggi

- ✓ Definizione del comportamento delle cerniere plastiche richiede esperienza dell'operatore
- ✓ Necessità di verifiche locali

Approccio 2 (osservazioni DT212/2013)

- ✓ Modello a **plasticità concentrata**

Diagrammi **M- Φ**
Interazione **flessione** e **taglio**
Luce di taglio aggiornata step by step **Lv=M/V**



Vantaggi

- ✓ Comportamento più realistico
- ✓ Non necessità di verifiche locali

Svantaggi

- ✓ Maggiore onere computazionale





Approccio classico
(Ntc 2008, Circolare n.617)

Approccio 2
(DT212/2013, Eurocodice 8)



- ✓ Valutare l'**incidenza di modelli di plasticità** differente nella definizione della capacità della struttura
- ✓ Valutare l'**incidenza delle diverse definizioni della luce di taglio** nella definizione della capacità della struttura
- ✓ Valutare la differenza in termini di **stima del rischio sismico** tra i due approcci



Approccio 2
(DT212/2013, Eurocodice 8)

+

Resistenza a taglio Ntc2008

Approccio 2
(DT212/2013, Eurocodice 8)

+

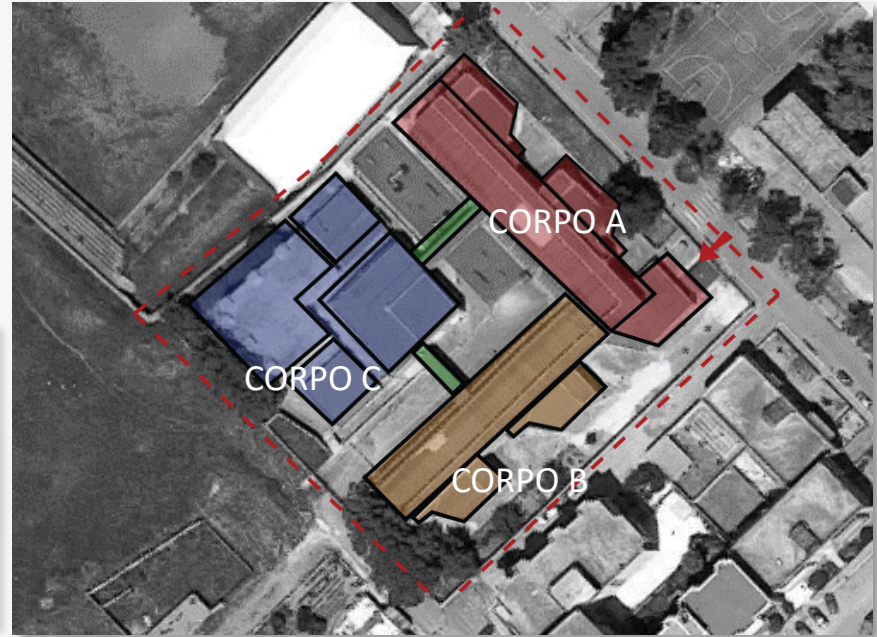
Resistenza a taglio Eurocodice 8 (Biskinis)



- ✓ Valutare l'**incidenza delle diverse definizioni della resistenza a taglio** nella definizione della capacità della struttura

Complesso scolastico «S. Giovanni Bosco»

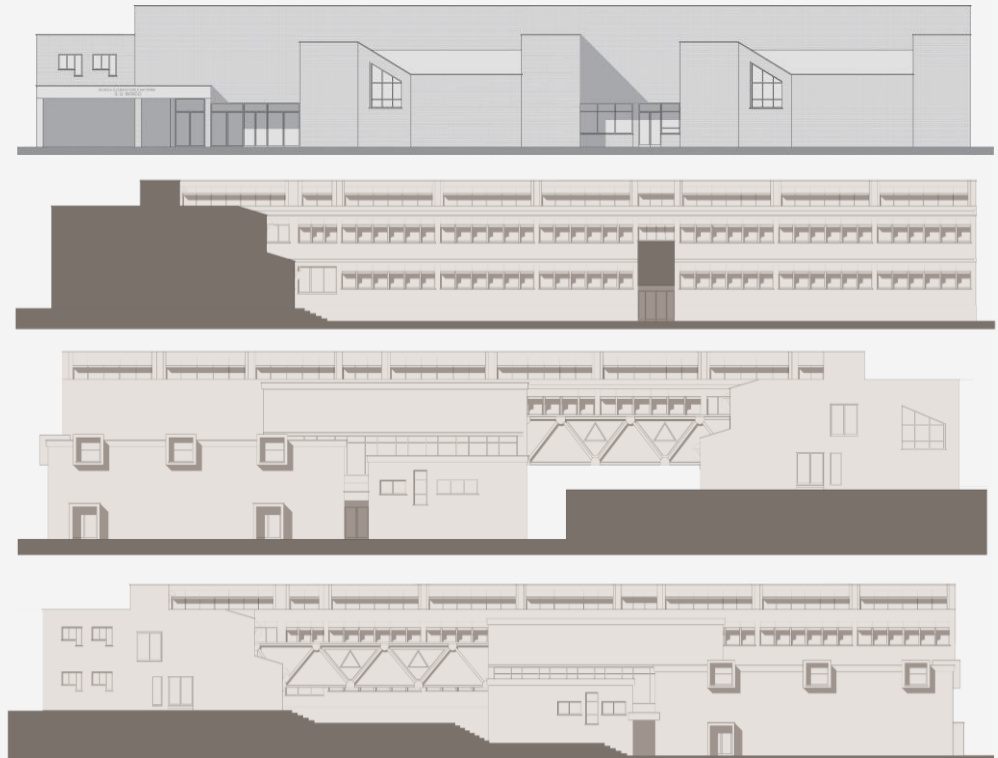
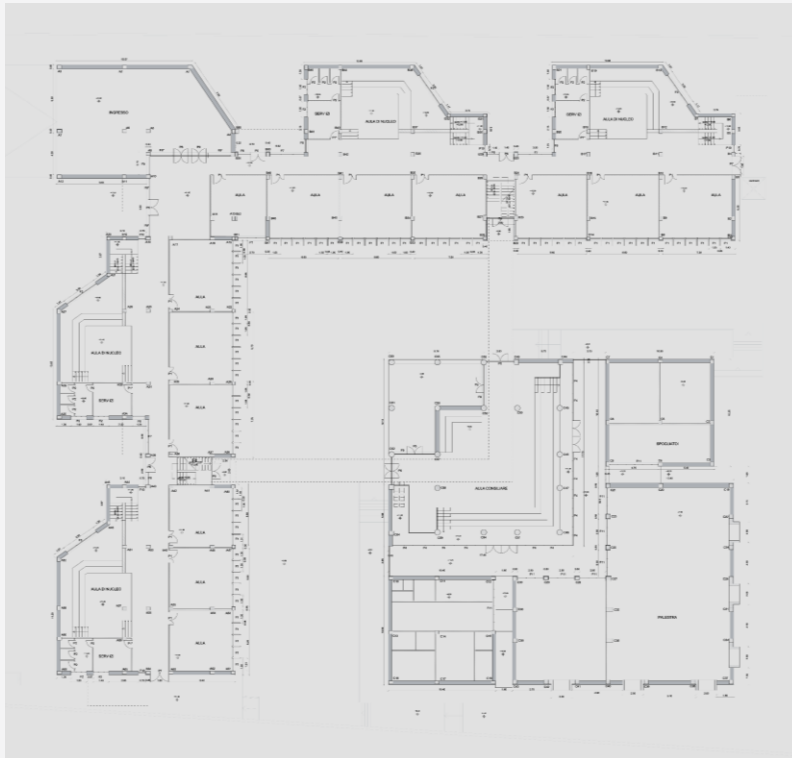
- ✓ Località : **Canosa di Puglia**
- ✓ Epoca di costruzione: **primi anni '70**
- ✓ Normativa di riferimento: **D.M. 30/05/1972**
- ✓ Numero corpi: **3**



✓ Rilievo geometrico →

Disegni originali architettonici
Disegni originali carpenteria

	Altezza H (m)	Base B (m)	H/B
Corpo A	8,3	17,2	0,48
Corpo B	8,3	17,2	0,48
Corpo C	7,05	31,4	0,22



✓ *Dettagli costruttivi*

Elaborati di progetto originali



pilastri e cordoli

Progetto simulato



travi portanti

- Ferri piegati
- Barre lisce;
- Assenza piegature finali

✓ *Caratterizzazione meccanica dei materiali*

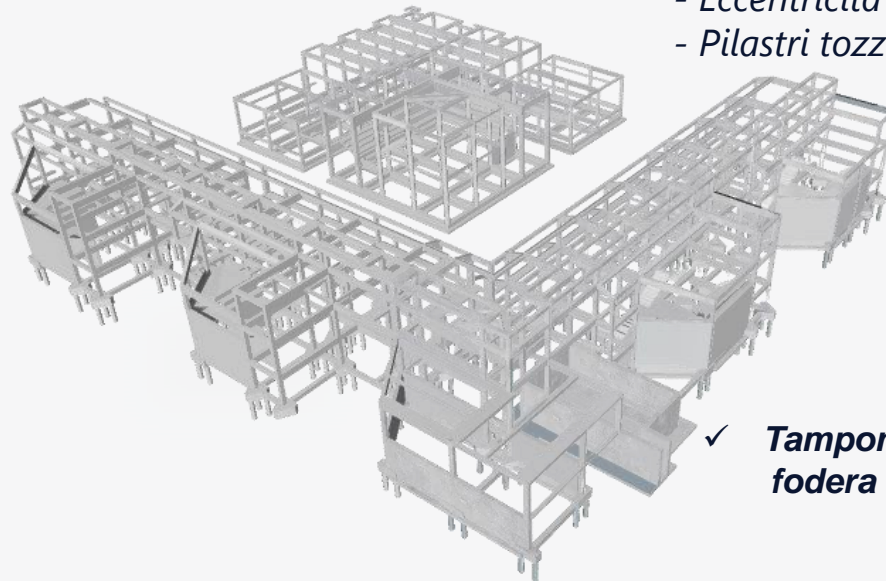
prove SonReb + Carotaggi



Calcestruzzo $f_{cm} = 17,1 \text{ MPa}$

Acciaio $f_{ym} = 426,8 \text{ MPa}$

**LIVELLO DI CONOSCENZA
ADEGUATA LC2
FATTORE DI CONFIDENZA 1,20**



✓ *Struttura a telaio in c.a.*

- "Trave forte-Pilastro debole"
- Eccentricità travi-pilastro
- Pilastri tozzi

✓ *Tamponature in doppia fodera in laterizio*



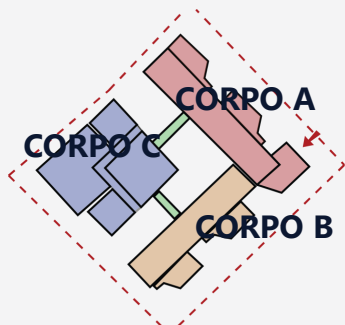
✓ *Solai in latero-cemento privi di soletta armata*



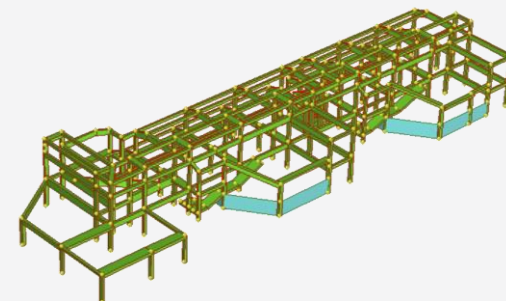
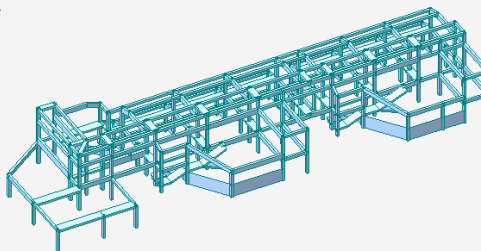
FIG. 41 - Nodi C.M. + C. nei solai in latero-cemento privi di soletta armata (a) (b)

Caratteristiche

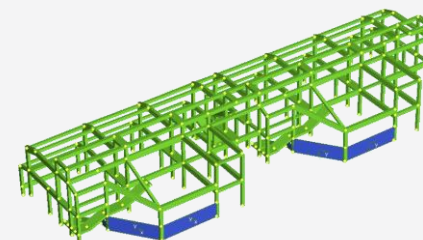
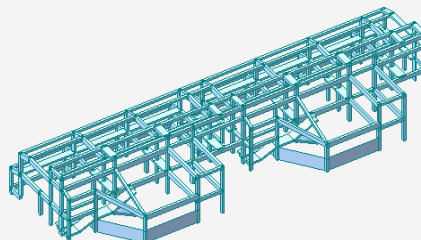
- ✓ Modello **FEM**
- ✓ Elemento finito prevalente: **BEAM**
- ✓ Vincoli alla base: **INCASTRI**
- ✓ Tipo di solai: **DEFORMABILI**
- ✓ Scale: modellate con elementi **BEAM ELASTICI**
- ✓ Tamponature e passerella pedonale: modellate come **CARICHI**
- ✓ Modellazione **STRUTTURA FUORI TERRA**



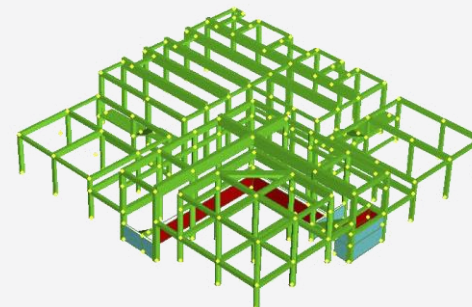
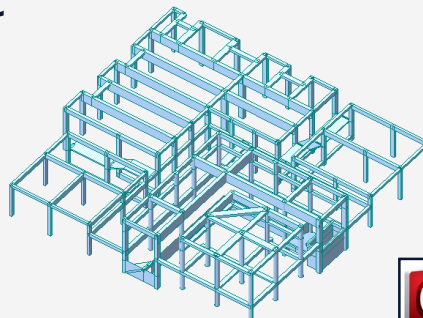
CORPO A



CORPO B



CORPO C



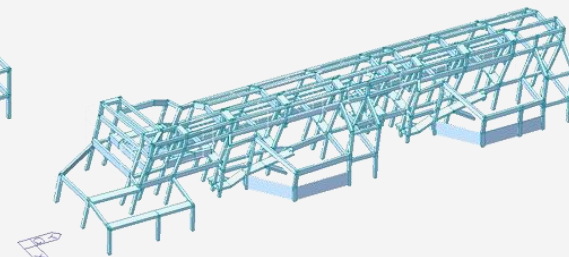
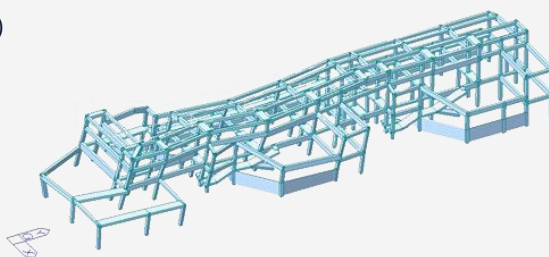
DETERMINAZIONE DEI DUE MODI DI VIBRARE PRINCIPALE



- ✓ Risultati **combacianti** in entrambi i software
- ✓ **Bassa massa partecipante** (inferiore 75% Ntc08) a causa delle **complessità e irregolarità strutturale**

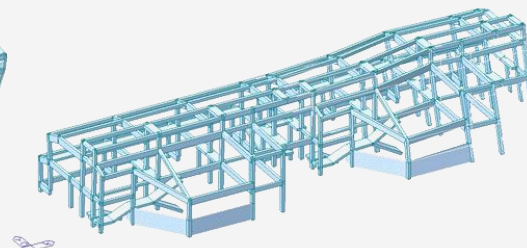
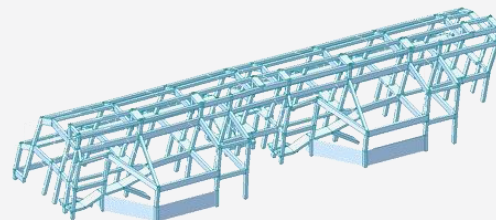
CORPO A

direzione y = **modo 3** lungo y (**66,5%** massa partecipante)
 direzione x = **modo 4** lungo x (**41%** massa partecipante)



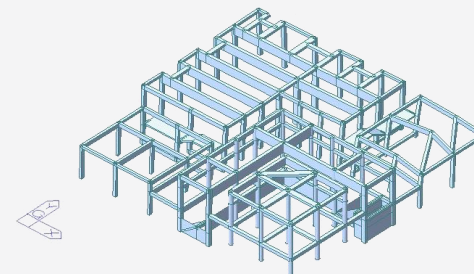
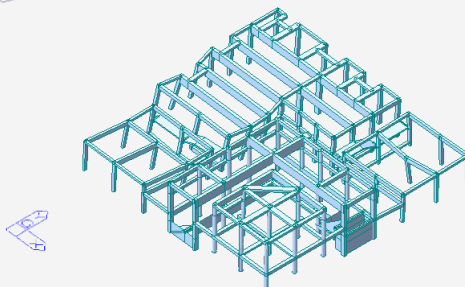
CORPO B

direzione y = **modo 4** lungo y (**66,5%** massa partecipante)
 direzione x = **modo 3** lungo x (**31,93%** massa partecipante)



CORPO C

direzione y = **modo 3** lungo y (**17,34%** massa partecipante)
 direzione x = **modo 6** lungo x (**26,50%** massa partecipante)



Gruppo 1 24 analisi per nodo

- 4 Analisi distribuzione **Pushmode**
- 4 Analisi distribuzione **Mode*Mass**
- 4 Analisi distribuzione **Mode*Mass+VR Ntc08**
- 4 Analisi distribuzione **Multimode+VR Ntc08**
- 4 Analisi distribuzione **Mode*Mass+VR EC8**
- 4 Analisi distribuzione **Multimode+VR EC8**

Approccio classico



Approccio 2



Gruppo 2 12 analisi per nodo

- 4 Analisi distribuzione **Pushmass**
- 4 Analisi distribuzione **Pushmass+Ntc08**
- 4 Analisi distribuzione **Pushmass+EC8**

Approccio classico



Approccio 2



Totale → **252 Analisi condotte**

Parametri Sismici

Longitudine= **16,056901**
 Vita nominale **50 anni**
 Categoria suolo **C**

Latitudine= **41,217898**
 Classe d'uso **III**
 Coeff. Cond. Topografica **1**



VERIFICA SLV
TR_D=712 ANNI

Corpo A

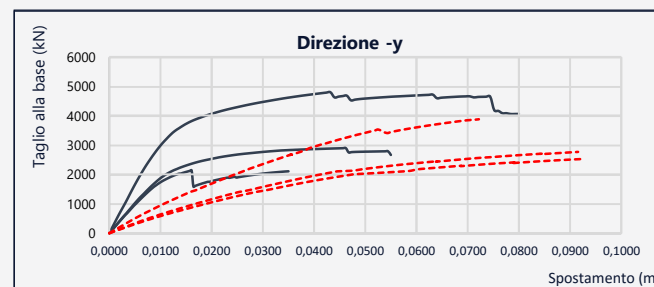
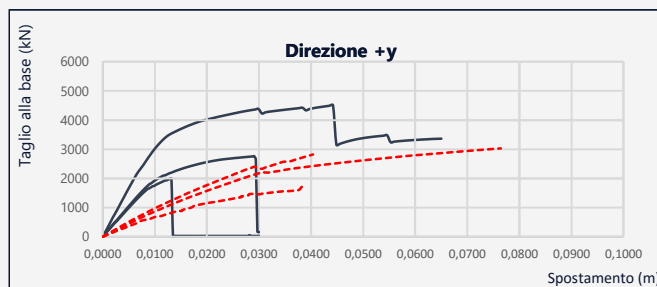
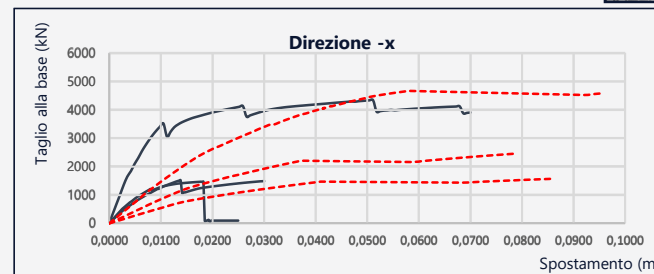
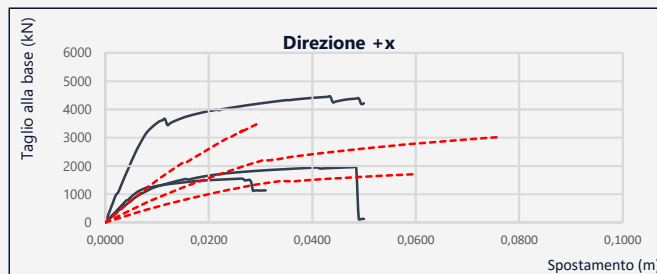
Incidenza **modello di plasticità e definizione luce di taglio**



Curve di capacità caratterizzate da:

- ✓ **Diverse rigidzze elastiche**
- ✓ **Spostamenti ultimi differenti**

— Approccio classico  - - - - Approccio 2 



✓ **Verifiche globali**



NON SODDISFATTE PER TR,D 712 anni

✓ **Verifiche locali**



MECCANISMI DUTTILI

TR	IR	
50 anni	0.34	
216 anni	0.61	+27%

MECCANISMI FRAGILI

TR	IR	
5 anni	0.13	
50 anni	0.34	+21%

Approccio classico

Approccio 2



Corpo B

✓ *Verifiche globali*

NON SODDISFATTE PER TR,D 712

✓ *Verifiche locali*

MECCANISMI DUTTILI

TR	IR	
30 anni	0.27	+2 %
35 anni	0.29	

MECCANISMI FRAGILI

TR	IR	
5 anni	0.13	+4 %
10 anni	0.17	

Approccio classico

Approccio 2

Corpo C

✓ *Verifiche globali*

NON SODDISFATTE PER TR,D 712

✓ *Verifiche locali*

MECCANISMI DUTTILI

TR	IR	
120 anni	0.48	-7%
83 anni	0.41	

MECCANISMI FRAGILI

TR	IR	
60 anni	0.36	+4%
78 anni	0.40	

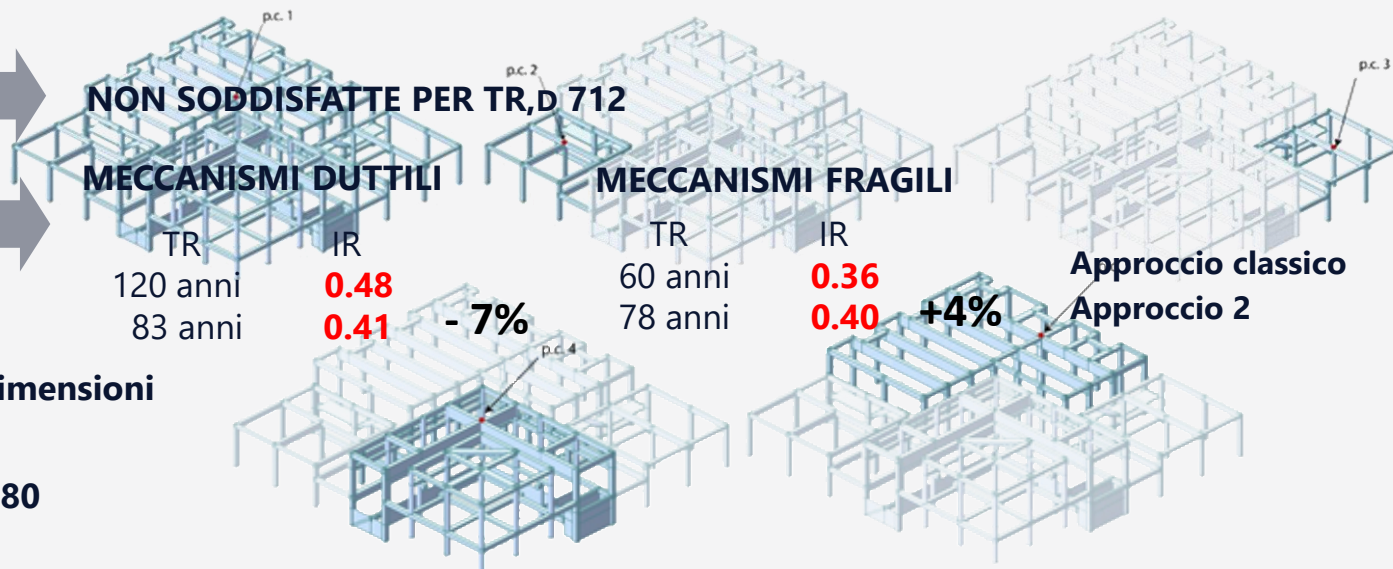
Approccio classico

Approccio 2

Caratteristiche: **grandi dimensioni**
e **irregolarità in altezza**

Totale analisi condotte: **180**

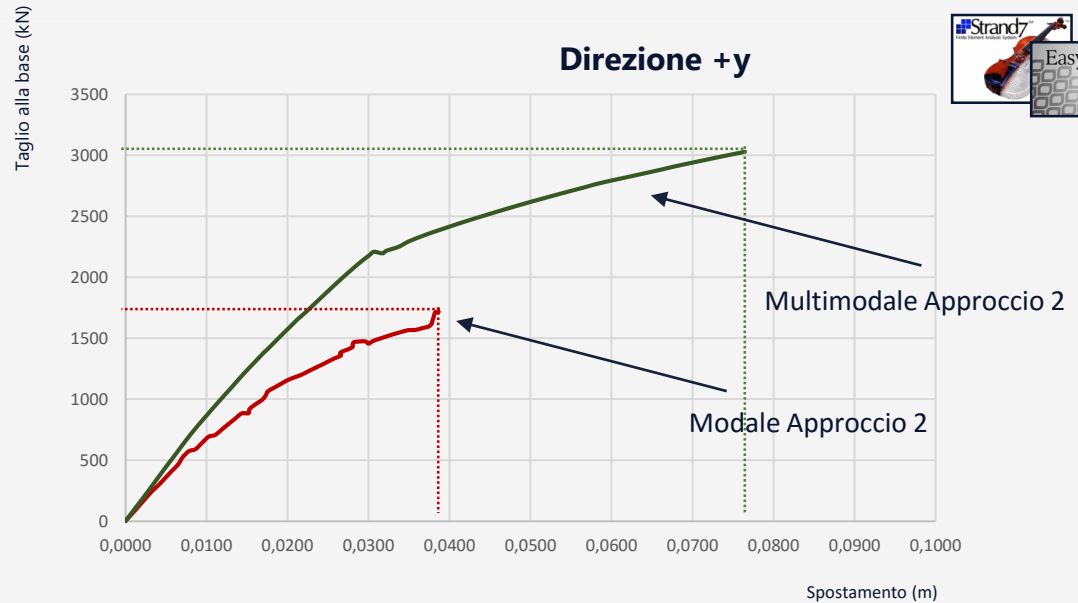
Punti di controllo: **5**



✓ Le analisi con profili di carico modali, sono state condotte nonostante la massa partecipante inferiore al 75% per mostrare la **necessità di utilizzare profili multimodali per strutture irregolari e complesse**



✓ A **parità di modello di plasticità** e definizione della **luce di taglio** si ottengono **curve differenti**



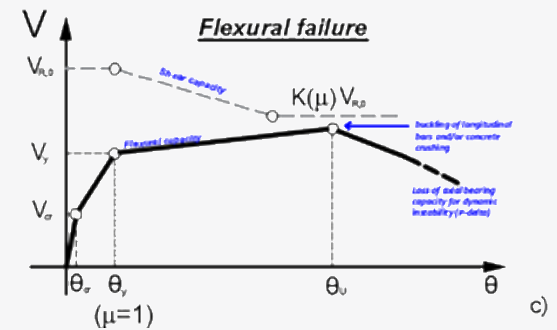
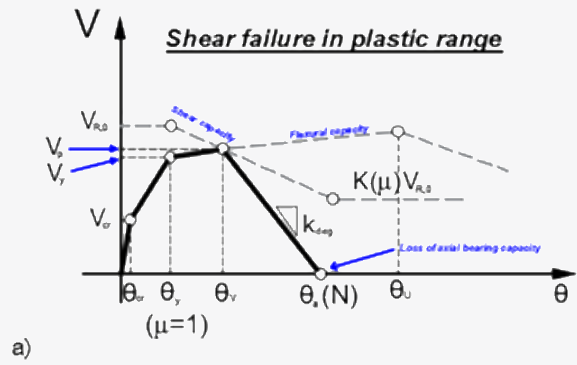
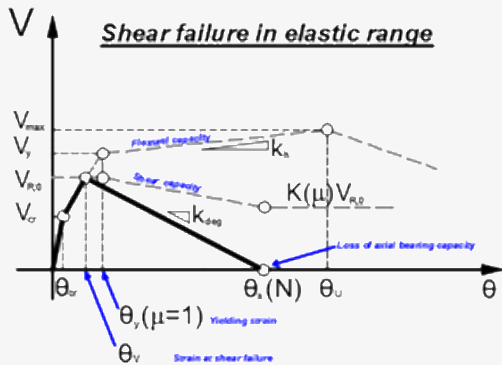
	MECCANISMI DUTTILI			MECCANISMI FRAGILI		
	TR	IR		TR	IR	
Approccio 2 Modale	216 anni	0.61		60 anni	0.36	
Approccio 2 Multimodale	346 anni	0.74	+13%	40 anni	0.30	-6%

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}} \left\{ \frac{h-x}{2L_V} \min(N; 0.55A_c f_c) + (1 - 0.05 \min(5; \mu_{\Delta,pl})) \left[0.16 \max(0.5; 100\rho_{tot}) \left(1 - 0.16 \min\left(5; \frac{L_V}{h}\right) \right) \sqrt{f_c} A_c + V_w \right] \right\} \text{Eurocodice 8 (Biskinis)}$$

Domanda di duttilità (parte plastica)



3 MECCANISMI DI COLLASSO

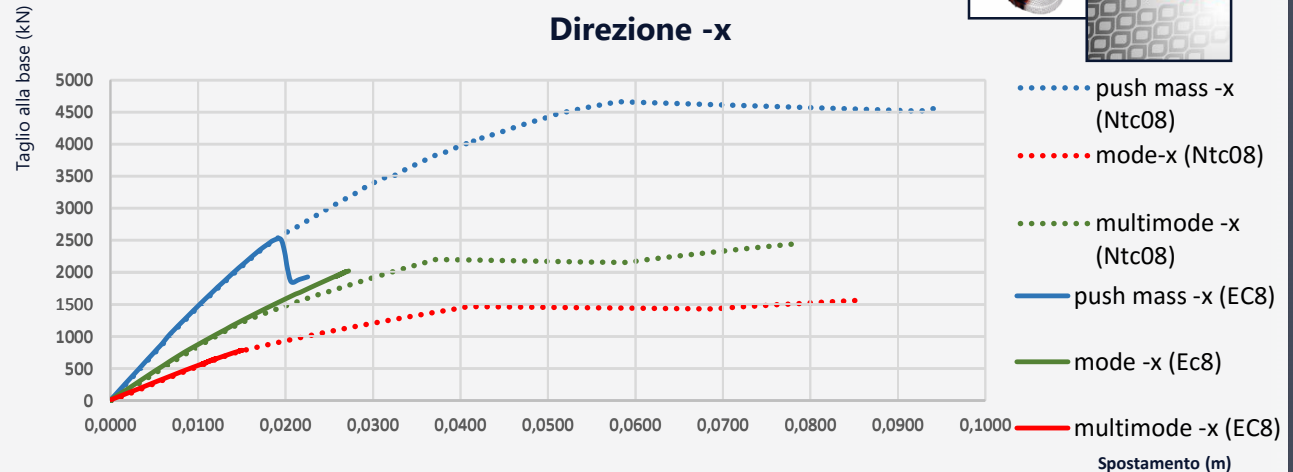


Tale valutazione può incidere sulla definizione della capacità della struttura

✓ A parità di **modello di plasticità**, e definizione della **luce di taglio**, il **collasso** con la formulazione della **resistenza a taglio secondo l'Eurocodice 8** **incorre molto prima**.



La **formulazione classica (Ntc08)** **sovrastima la capacità strutturale**



Approccio 2 (V_R Ntc08)-pushmass
Approccio 2 (V_R Ec8)-pushmass
Approccio 2 (V_R Ntc08)-pushmode
Approccio 2 (V_R Ec8)-pushmode
Approccio 2 (V_R Ntc08)-multimode
Approccio 2 (V_R Ec8)-multimode

MECCANISMI DUTILI

TR	IR	
2475 anni	1,81	-146%
54 anni	0.35	
581 anni	0.90	-53%
63 anni	0.37	
484 anni	0.85	-56%
35 anni	0.29	

MECCANISMI FRAGILI

TR	IR	
252 anni	0,65	-23%
134 anni	0,42	
50 anni	0.34	-19%
7 anni	0.15	
50 anni	0.34	-18%
8 anni	0.16	

Dai risultati ottenuti è possibile affermare che:

- ✓ ***L'approccio classico risulta non adeguato alla definizione del comportamento di strutture complesse ed irregolari***
- ✓ ***L'incidenza della luce di taglio e del comportamento delle cerniere plastiche dell'approccio 2 può condurre a risultati differenti in termini di indici di rischio anche nell'ordine del 20%***
- ✓ ***La formulazione della resistenza a taglio classica (Ntc2008) può sovrastimare la capacità della struttura di oltre il 50% per i meccanismi duttili e di oltre il 15% per i meccanismi fragili a sfavore di sicurezza***