



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

Con il patrocinio di



# Realizzazioni Sismoresistenti con il Sistema a Nodo Umido Strutturale PREM, con o senza isolatori sismici, nel nuovo e nelle ristrutturazioni

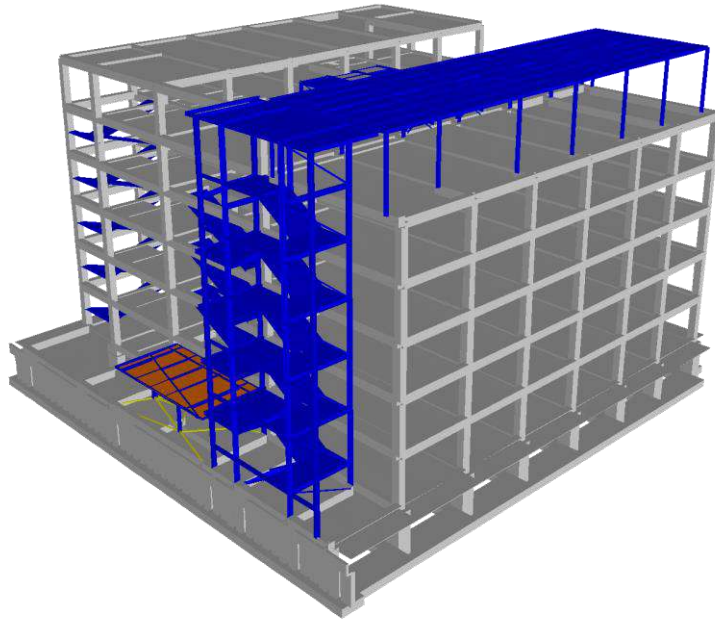
*Modellazione numerica di strutture con isolatori sismici, Travi PREM e Pilastrini a Nodo Umido: Applicazioni con PRO\_SAP e confronto con le strutture tradizionali*

*Ing. Gennj Venturini*



14 Giugno 2019

# Chi siamo

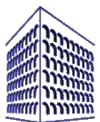


Si ringrazia Ing. Diego Casertano per il modello dell'Ospedale  
Sant'Andrea - Roma -

2S.I. sviluppa e distribuisce il software a elementi finiti per il calcolo strutturale **PRO\_SAP**.

È attiva da più di 20 anni ed è leader nel campo dell'ingegneria delle strutture e geotecnica.

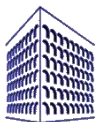
Ha molteplici collaborazioni con istituti universitari ed enti di ricerca come EUCENTRE e NAFEMS, ISI.



# Sommario

- Modellazione PRO\_SAP di travi PREM
- Cenni normativi
- Controllo risultati
- Modellazione PRO\_SAP di isolatori sismici
- Cenni normativi
- Controllo risultati

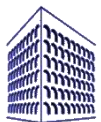
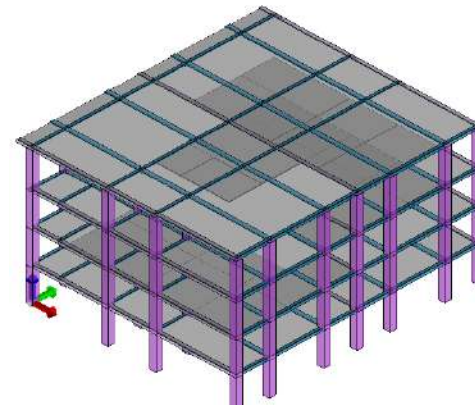
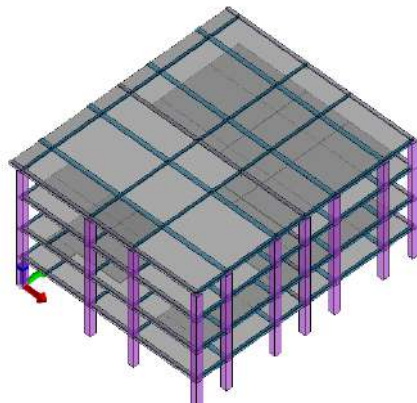
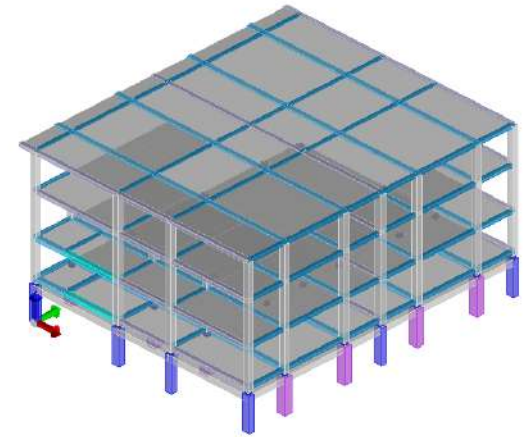
→ **CONFRONTO** tra strutture tradizionali e strutture con **travi PREM e isolatori sismici**



# Modelli: confronto del comportamento

Si confronteranno tre strutture

1. Tradizionale
2. Con travi PREM
3. Con isolatori + PREM



#### 4.6. ALTRI SISTEMI COSTRUTTIVI

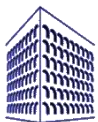
Qualora vengano usati sistemi costruttivi diversi da quelli disciplinati dalle presenti norme tecniche, la loro idoneità deve essere comprovata da una dichiarazione rilasciata, ai sensi dell'articolo 52, comma 2, del D.P.R. 380/01, dal Presidente del Consiglio superiore dei lavori pubblici su conforme parere dello stesso Consiglio e previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale.

Si intendono per "sistemi costruttivi diversi da quelli disciplinati dalle presenti norme tecniche" quelli per cui le regole di progettazione ed esecuzione non siano previste nelle presenti norme tecniche o nei riferimenti tecnici e nei documenti di comprovata validità di cui al Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme tecniche.

In ogni caso, i materiali o prodotti strutturali utilizzati nel sistema costruttivo devono essere conformi ai requisiti di cui al Capitolo 11.

Per singoli casi specifici le amministrazioni territorialmente competenti alla verifica dell'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni ai sensi del DPR 380/2001 o le amministrazioni committenti possono avvalersi dell'attività consultiva, ai sensi dell'articolo 2, comma 1, lettera b), del D.P.R. 204/2006, del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che si esprime previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale.

**"Linee guida per l'utilizzo di travi travi tralicciate in acciaio conglobate nel getto di calcestruzzo collaborante e procedure per il rilascio dell'autorizzazione all'impiego"** riferito al punto 4.6 del DM 14.1.2018 *Norme tecniche per le costruzioni*, approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori pubblici, con voto n.116/2009.

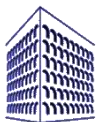
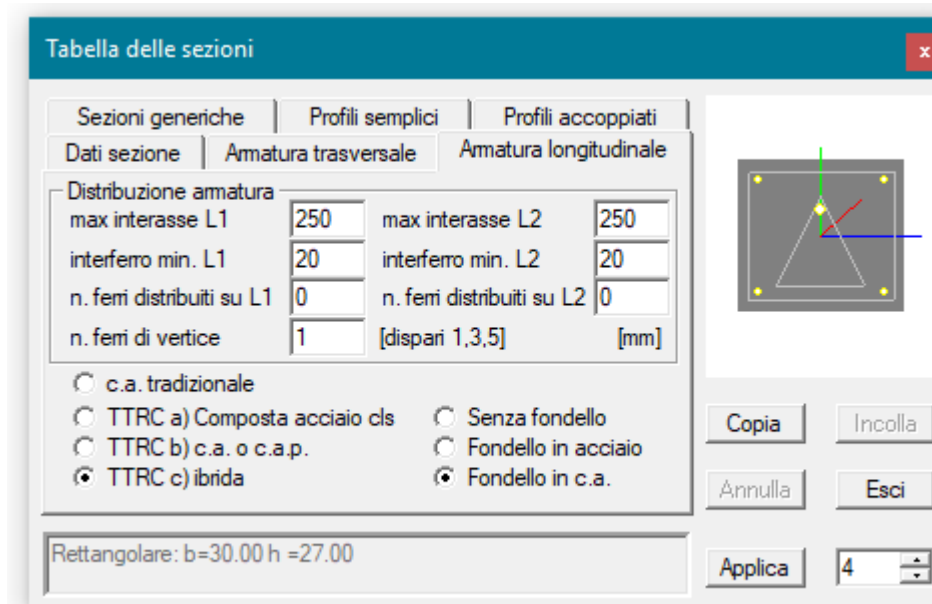


# Travi PREM: modellazione

- La modellazione delle travi PREM è analoga a quella delle travi tradizionali
- Per il dimensionamento di massima è consigliabile contattare il fornitore, che in funzione di luci e carichi può dare indicazioni sulle sezioni tipiche delle travi
- In PRO\_SAP è possibile definire travi TTRC autoportanti oppure non autoportanti → i maggiori vantaggi si hanno con le TRAVI TTRC **AUTOPORTANTI**



# Dimensionamento di massima

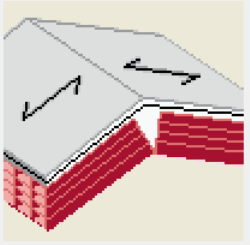


# Travi PREM: carichi

- Nei carichi è sufficiente specificare
- se il solaio sarà autoportante o puntellato
- La quota parte di peso proprio che lavorerà secondo lo schema isostatico
- Nel caso di solaio puntellato è possibile indicare la distanza del puntello

Carico copertura tipico

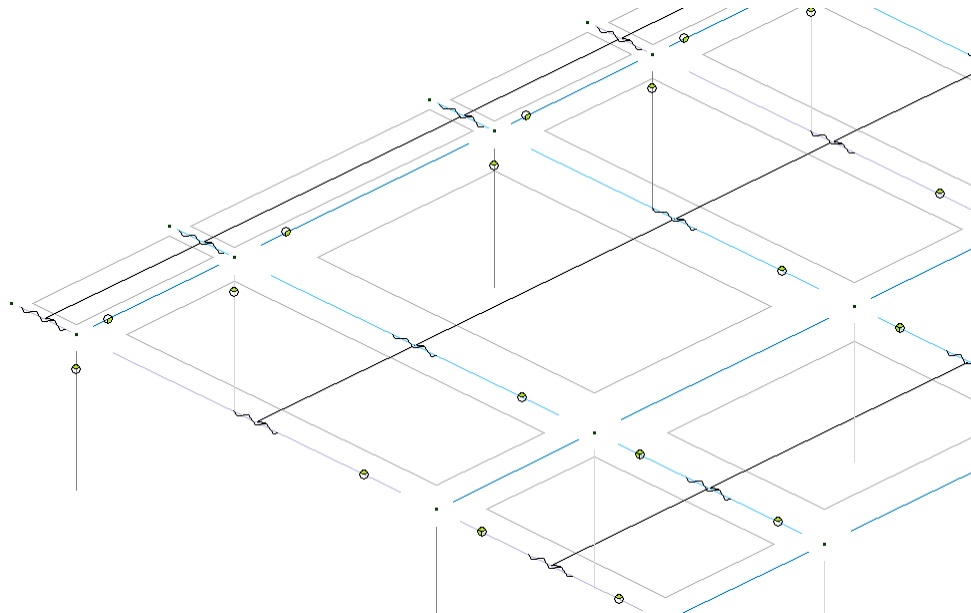
Stringa identificativa	
<b>Dati di carico</b>	
G1:peso proprio e perm. definiti	620.0 [daN/ m2]
G2:permanenti NON definiti	100.0 [daN/ m2]
Sovraccarico neve	132.0 [daN/ m2]
Coefficiente psi0	0.7
Coefficiente psi1	0.2
Coefficiente psi2	0.0
<input checked="" type="checkbox"/> Autoportante	
G1iso:quota peso proprio isost...	480.0 [daN/ m2]
<b>Generalità</b>	
Categoria	ND



OK Annulla

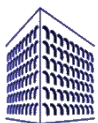


# Modello



Edita proprietà D2

<b>Generalità</b>	
Elemento tipo	Trave
Sezione	[6] Rettangolare: b=40.00 h =27.00
Rotazione	0.0 [ gradi ]
Materiale	[4] Calcestruzzo Classe C32/40
Criterio di progetto	[1] Criterio di progetto DM08
Condizioni ambientali	Ordinarie X0
Filo fisso - pianta	elemento in asse
Filo fisso - sezione	elemento in asse
Layer	[1] Layer 0
<input type="checkbox"/> Usa tratti rigidi	
Pretensione	0.0 [daN/ m2 ]
<b>Travi TTRC</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Usa tecnologia TTRC	
<input checked="" type="checkbox"/> Tipo autoportante	
Distanza puntello	0.0 [ m ]
Inerzia sezione fase 1	0.0 [ cm4 ]
Inerzia sezione fase 2	0.0 [ cm4 ]
<b>Interazione terreno</b>	
<input type="checkbox"/> Fondazione (faccia inferiore)	
K terr. vert.	0.0 [daN/cm3 ]
K terr. orizz.	0.0 [daN/cm3 ]
<b>Codici di rilascio estremità</b>	



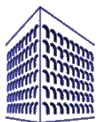
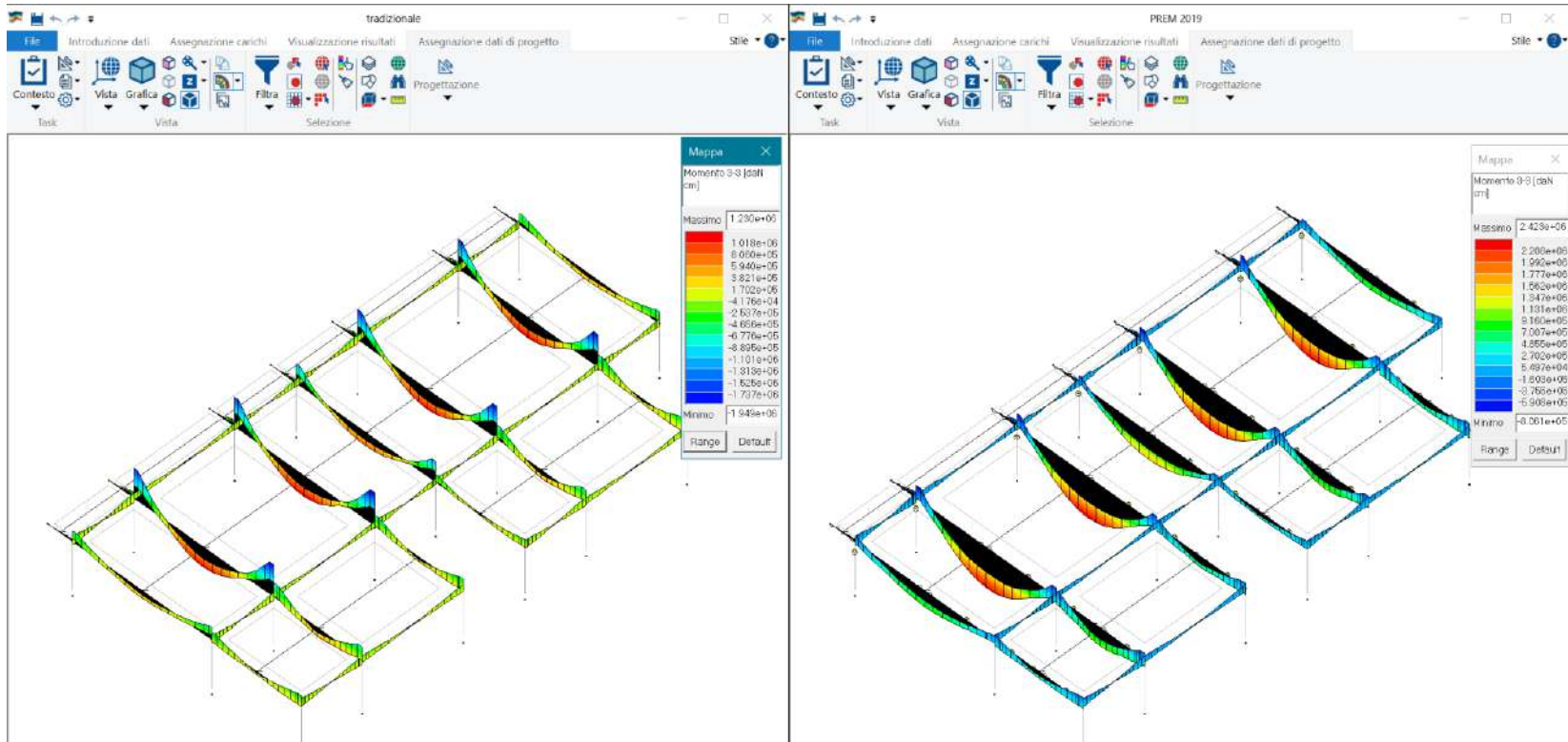
# Modello

L'inserimento di travi Tralicciate comporta una gestione automatica:

- **Dei carichi**
- **Degli svincoli di fase 1**



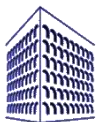
# Sollecitazioni



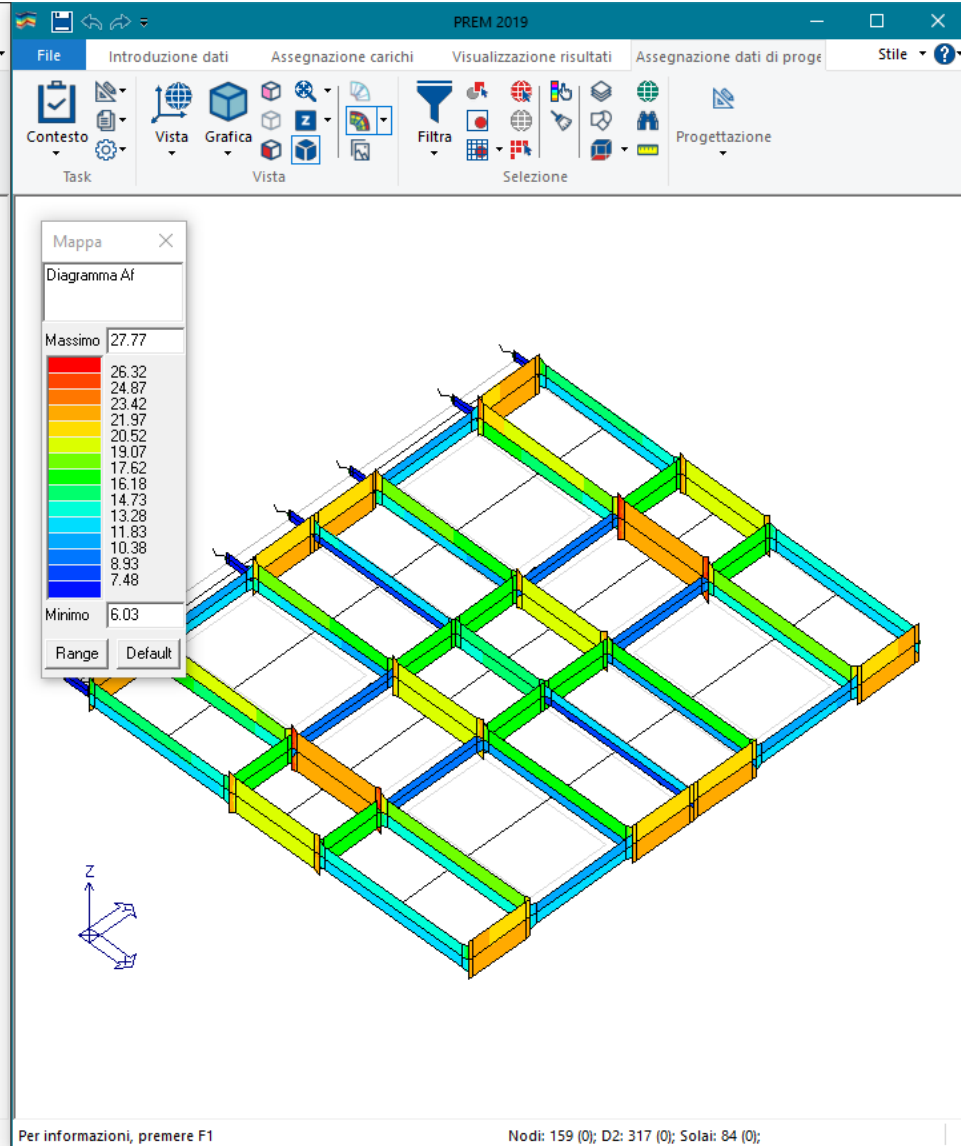
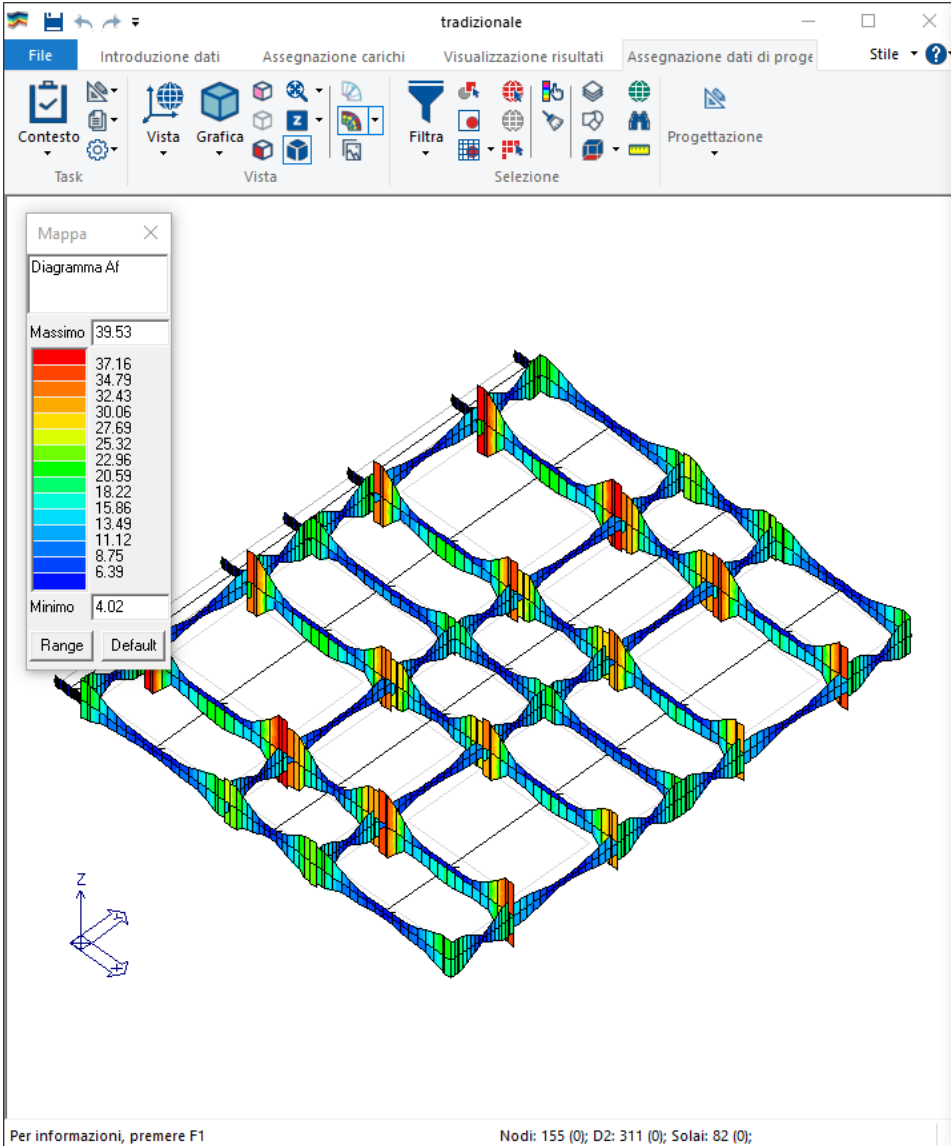
## Travi PREM controllo risultati

Si può notare nel diagramma dei momenti che la fase 1 è in semplice appoggio, mentre i carichi variabili e i permanenti di fase 2 lavorano sullo schema statico finale

- Maggiore armatura longitudinale in campata e meno sugli appoggi
- Vantaggi anche per i pilastri
  - Gerarchia delle resistenze
  - Verifiche dei nodi secondo NTC2018

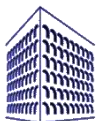


# Modellazione numerica di strutture con isolatori sismici, travi PREM e Pilastri a Nodo Umido: Applicazioni con PRO\_SAP e confronto con le strutture tradizionali



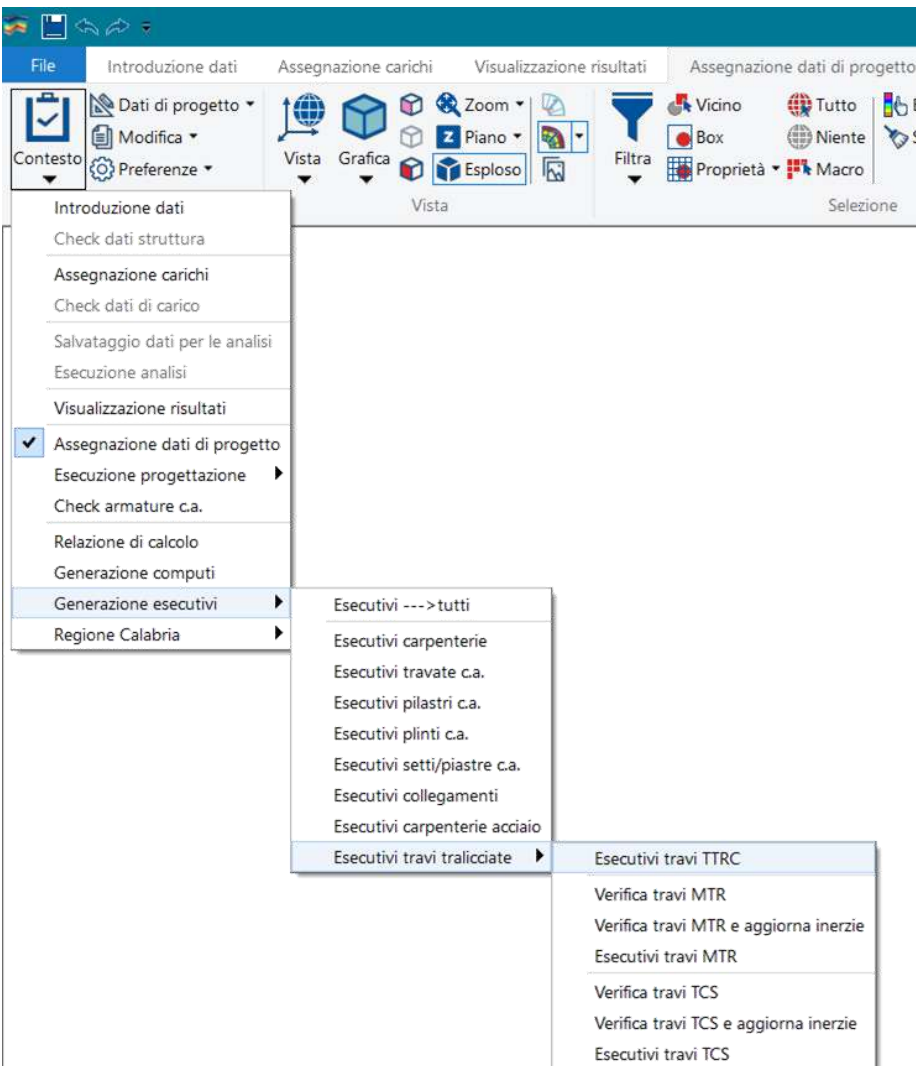
# Confronto con strutture tradizionali

- Le differenze principali riguardano:
- Sollecitazioni nelle travi
- Armature longitudinali nelle travi
- E quindi, in cascata:
  - Armatura longitudinale nei pilastri
  - Staffe nei nodi dei pilastri
  
- Le differenze principali riguardano la gestione della «**fase 1**» e quindi i carichi gravitazionali.

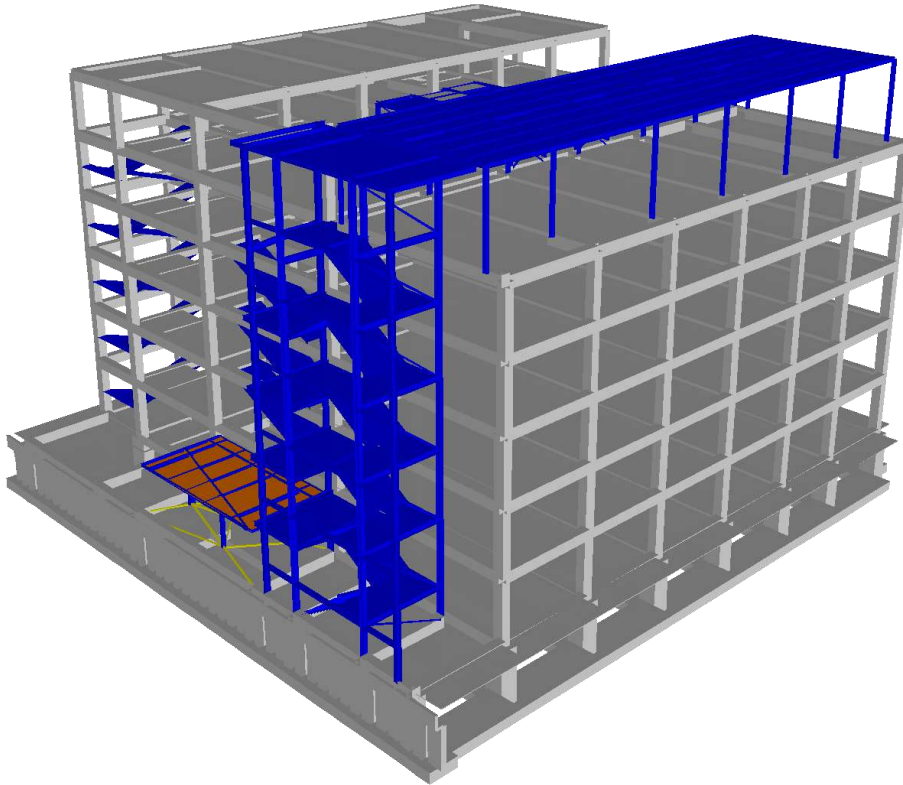


# La progettazione

Per la progettazione è sufficiente fornire i file con gli output delle travi PREM al produttore che calcolerà le travi assicurandosi di non superare il momento massimo delle travi usato per il calcolo dei pilastri.



## PARTE 2: isolatori

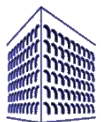


CATALOGO  
2019

*Isolatori elastomerici*



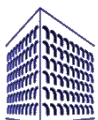
**ISGAAD Srl**  
Roma, Via Sardegna 29  
info@isgaadsrl.com





## Isolatori sismici: modellazione

- Analogamente alle travi TTRC per la modellazione degli isolatori sismici è dovremo contattare il fornitore **prima di iniziare la modellazione.**
- Al fornitore di isolatori comunicheremo le informazioni sulla struttura
- In questo modo il fornitore potrà consigliare il dispositivo più adatto alla nostra struttura.



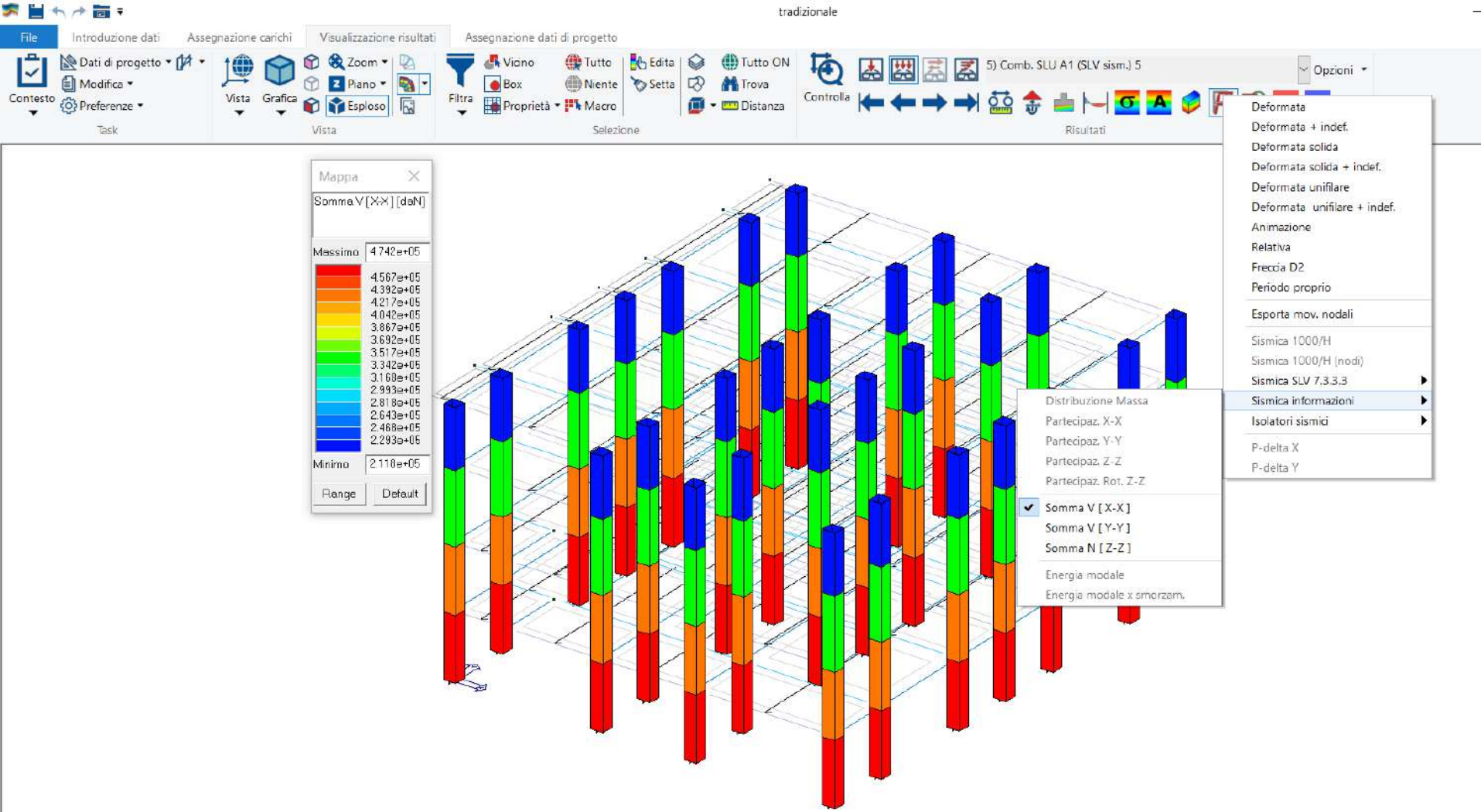
# Isolatori sismici: modellazione

Al fornitore di isolatori comunicheremo:

- La massa totale dell'edificio
- La distribuzione in pianta degli elementi verticali resistenti
- Il Taglio sismico della struttura non isolata
- Il periodo della struttura a base fissa **T<sub>bf</sub>**
- Il periodo della struttura isolata **T<sub>is</sub>** che vogliamo ottenere



# Modellazione numerica di strutture con isolatori sismici, travi PREM e Pilastri a Nodo Umido: Applicazioni con PRO\_SAP e confronto con le strutture tradizionali



# Modello «tradizionale»

- Per fornire le informazioni al produttore di isolatori è necessario realizzare il modello della struttura A BASE FISSA (io l'ho chiamata “tradizionale”)
- Grazie al modello BF si potranno individuare le informazioni per il produttore.

## ISOLATORI ELASTOMERICI – SERIE RI

### DISPLACEMENT 200 mm

H-200	N <sub>Es</sub> kN	N <sub>Ea</sub> kN	d <sub>Es</sub> mm	k <sub>s</sub> kN/mm	k <sub>v</sub> kN/mm	D mm	T <sub>s</sub> mm	H mm	L mm
RIH-300/100	450	1800	200	0,96	429	300	100	228	350
RIH-350/100	950	2500	200	1,32	720	350	100	228	400
RIH-400/100	1500	3200	200	1,75	1160	400	100	228	450
RIH-450/100	2000	4000	200	2,22	1606	450	100	228	500
RIH-500/105	2500	5000	200	2,55	1777	500	105	245	550
RIH-550/100	3000	6000	200	3,30	2656	550	100	238	600
RIH-600/102	3650	7500	200	3,87	3018	600	102	234	650
RIH-700/105	4500	8500	200	4,47	2692	700	105	247	750
RIH-800/104	9100	13000	200	6,75	5359	800	104	240	850
RIH-900/108	11000	17000	200	8,23	6570	900	108	252	950
RIH-1000/110	14000	20000	200	9,97	7908	1000	110	280	1050
RIH-1100/110	17500	25000	200	12,06	10039	1100	110	290	1150
RIH-1200/110	22000	29000	200	14,36	12405	1200	110	290	1250





# Il catalogo isolatori

- Una volta modellata la struttura tradizionale (necessario per la definizione della massa totale e dei tagli sismici) si può aggiornare l'archivio degli isolatori inserendo i dati forniti dal produttore.

Catalogo degli isolatori

ID	Sigla	bx(D)	by	t	n.t	ts	te	Gdin	Eb	A	Ap	L	S1	S2x	S2y	Hstrutt	Ke	Kv	Scorim.	Smorz.	Raggio	mu att	fyk	gam	Peso
n. 1	Analisi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	600	652000	No	0	0	0	0	0	0
n. 2	Analisi + progetto	50	0	0.80	14	0.30	11.84	3	20000	1963.50	1963.50	125.66	15.63	4.22	4.22	25.10	497.51	563641.18	No	0	0	0	4300	3	0
n. 3	Analisi + progetto + verifica	50	0	0.80	14	0.30	11.84	3	20000	1963.50	1963.50	125.66	15.63	4.22	4.22	25.10	497.51	563641.18	No	0	0	0	4300	3	0
n. 4	Isolatore centrale	50	0	0.80	14	0.30	11.84	3	20000	1963.50	1963.50	125.66	15.63	4.22	4.22	25.10	497.51	563641.18	No	9.20	0	0	4300	3	0
n. 5	Isolatore di bordo	50	0	0.80	14	0.30	11.84	3	20000	1963.50	1963.50	125.66	15.63	4.22	4.22	25.10	497.51	563641.18	No	10	0	0	4300	3	0
n. 6	Isolatore rettangolare	40	60	0.80	14	0.30	11.84	3	20000	2000	2000	144	18.89	3.38	4.22	25.10	506.76	476275.15	No	10	0	0	4300	3	1000
n. 7	Isolatore tipo	60	0	0.80	8	0.30	7.04	8	20000	2827.43	2827.43	160.80	18.76	8.52	8.52	12.50	3500	3500000	No	15	0	0	4300	3	500
n. 8	Isolatore non definito	60	0	0	0	0	0	0	20000	2827.43	2827.43	0	0	0	0	12.50	0	35000000	Si	0	0	0	4300	3	500

Aggiungi      Rimuovi

Rimuovi tutto

Leggi file      Scrivi file

Impostazione dati isolatore:

Dati necessari per l'esecuzione delle analisi: Hstrutt, Ke, Kv, Scorim.  
 Per isolatori Friction Pendulum introdurre Raggio e mu att (Ke e Smorz: valori iniziali)

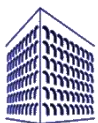
Dati necessari per il progetto dell'isolatore: bx(D), by, n.t, t, ts, Gdin, Eb  
 [A, L, Ap, S1, S2x, S2y calcolati dal programma; A, L si possono impostare]

Dati necessari per la verifica dell'isolatore: gamma\* e fyk [oltre ai dati di progetto]

Dati opzionali: smorzamento [Sesi calcolato dal programma] e peso

Unità di misura: dati e cm

Applica      Annulla



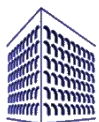


## Il catalogo isolatori

- C'è una grande variabilità delle rigidezze nel catalogo è fondamentale la scelta del dispositivo!

### DISPLACEMENT 200 mm

H-200	N <sub>Ed</sub> kN	N <sub>Sd</sub> kN	d <sub>Ed</sub> mm	k <sub>n</sub> kN/mm	k <sub>v</sub> kN/mm	D mm	T <sub>q</sub> mm	H mm	L mm
RIH-300/100	450	1800	200	0,96	429	300	100	228	350
RIH-350/100	950	2500	200	1,32	720	350	100	228	400
RIH-400/100	1500	3200	200	1,75	1160	400	100	228	450
RIH-450/100	2000	4000	200	2,22	1606	450	100	228	500
RIH-500/105	2500	5000	200	2,55	1777	500	105	245	550
RIH-550/100	3000	6000	200	3,30	2656	550	100	238	600
RIH-600/102	3650	7500	200	3,87	3018	600	102	234	650
RIH-700/105	4500	8500	200	4,47	2692	700	105	247	750
RIH-800/104	9100	13000	200	6,75	5359	800	104	240	850
RIH-900/108	11000	17000	200	8,23	6570	900	108	252	950
RIH-1000/110	14000	20000	200	9,97	7908	1000	110	280	1050
RIH-1100/110	17500	25000	200	12,06	10039	1100	110	290	1150
RIH-1200/110	22000	29000	200	14,36	12405	1200	110	290	1250



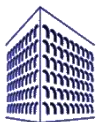
# Isolatori sismici

## 1. Modellazione

## 2. Assegnazione carichi

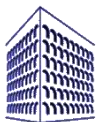
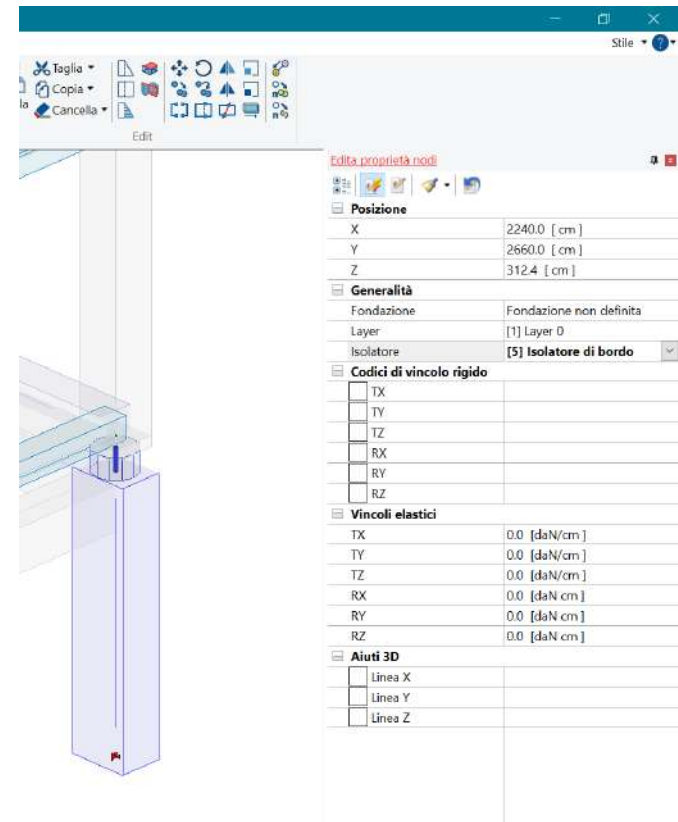
## 3. Controllo risultati

## 4. Progettazione



# Isolatori sismici: modellazione

- Per la modellazione, una volta inserito l'archivio è sufficiente modificare le proprietà del nodo della sottostruttura e assegnare l'isolatore.
  - È possibile inserire:
    - **Isolatori elastomerici**
    - **Slitte** (per centrare il baricentro delle rigidezze)
- Oppure
- **Isolatori Friction Pendulum**





# Isolatori sismici

1. Modellazione
- 2. Assegnazione carichi**
3. Controllo risultati
4. Progettazione



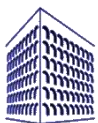
# Normativa

## 7.10.5.3.2 Analisi lineare dinamica

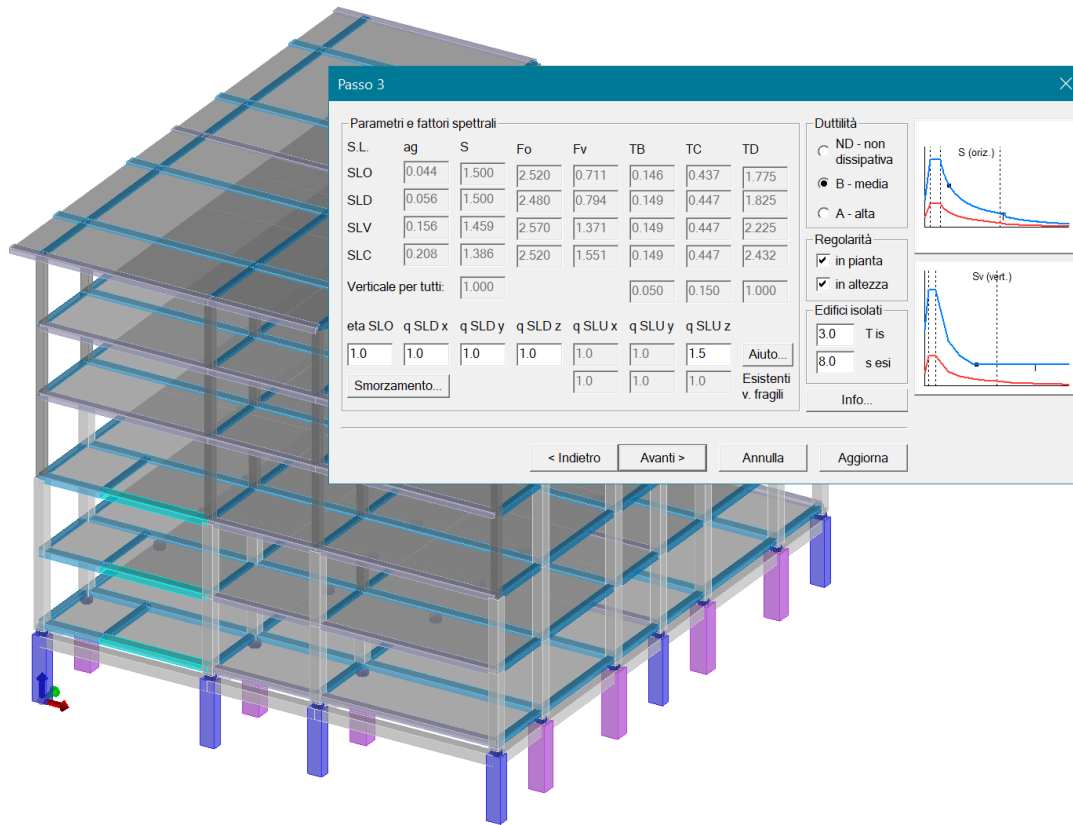
Per le costruzioni con isolamento alla base l'analisi dinamica lineare è ammessa quando risulta possibile modellare elasticamente il comportamento del sistema di isolamento, nel rispetto delle condizioni di cui al § 7.10.5.2. Per il sistema complessivo, formato dalla sottostruttura, dal sistema d'isolamento e dalla sovrastruttura, si assume un comportamento elastico lineare. Qualora il sistema di isolamento non sia immediatamente al di sopra delle fondazioni, il modello deve comprendere sia la sovrastruttura sia la sottostruttura, a meno che la sottostruttura non sia assimilabile ad una struttura scatolare rigida come definita al § 7.2.1. L'analisi può essere svolta mediante analisi modale con spettro di risposta o mediante integrazione al passo delle equazioni del moto, eventualmente previo disaccoppiamento modale, considerando un numero di modi tale da portare in conto anche un'aliquota significativa della massa della sottostruttura, se inclusa nel modello.

Nel caso si adotti l'analisi modale con spettro di risposta, questa deve essere svolta secondo quanto specificato in § 7.3.3.1, salvo diverse indicazioni fornite nel presente paragrafo. Le due componenti orizzontali dell'azione sismica si considerano in generale agenti simultaneamente, adottando, ai fini della combinazione degli effetti, le regole riportate in § 7.3.3.1. La componente verticale deve essere messa in conto nei casi previsti in § 7.2.2 e, in ogni caso, quando il rapporto tra la rigidezza verticale del sistema di isolamento  $K_v$  e la rigidezza equivalente orizzontale  $K_{esi}$  risulti inferiore a 800. In tali casi si avrà cura che la massa eccitata dai modi in direzione verticale considerati nell'analisi sia significativa.

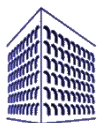
Lo spettro elastico definito in § 3.2.3.2 va ridotto per tutto il campo di periodi  $T \geq 0,8 T_{is}$ , assumendo per il coefficiente riduttivo  $\eta$  il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi_{esi}$  del sistema di isolamento.



# Spettro di progetto

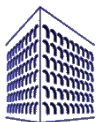


- Lo spettro di progetto è calcolato in automatico secondo quanto previsto dalla normativa. Al passo 3 dei casi di carico sismici è possibile personalizzare
- **Tis** (periodo proprio del sistema di isolamento)
- **S esi** (smorzamento del sistema di isolamento)



# Isolatori sismici

1. Modellazione
2. Assegnazione carichi
- 3. Controllo risultati**
4. Progettazione



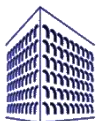
## C7.10 COSTRUZIONI CON ISOLAMENTO E/O DISSIPAZIONE

### C7.10.1 SCOPO

Considerando una porzione di struttura che, a base fissa, avrebbe un periodo fondamentale di oscillazione  $T_{bf}$  in una data direzione, l'isolamento alla base di questa porzione deve produrre uno dei seguenti effetti:

- a) l'incremento del periodo grazie all'adozione di dispositivi con comportamento d'insieme approssimativamente lineare. Si ottiene un buon "disaccoppiamento" quando il periodo della struttura isolata  $T_{is}$  risulta  $T_{is} \geq 3 \cdot T_{bf}$ . Maggiore è l'incremento di periodo (generalmente  $T_{is} > 2,0$  s) maggiore è la riduzione delle accelerazioni sulla sovrastruttura (spettro in accelerazioni) e l'incremento degli spostamenti (spettro in spostamenti), che si concentrano essenzialmente nel sistema di isolamento;
- b) la limitazione della forza trasmessa alla sottostruttura, grazie all'adozione di dispositivi con comportamento d'insieme non lineare, caratterizzato da basso incrudimento ovvero incrementi minimi o nulli della forza per grandi spostamenti. In questo modo si limitano le forze d'inerzia, quindi l'accelerazione, sulla sovrastruttura, ancora a scapito di un sensibile incremento degli spostamenti nel sistema di isolamento.

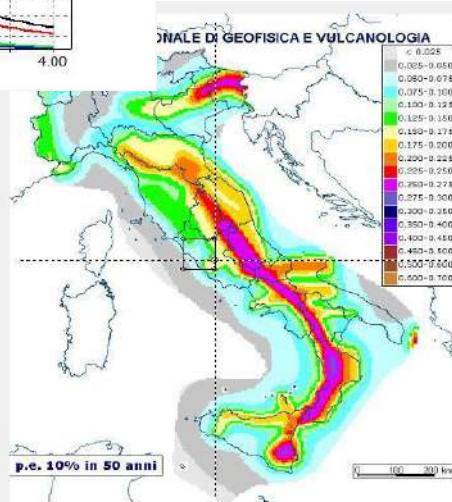
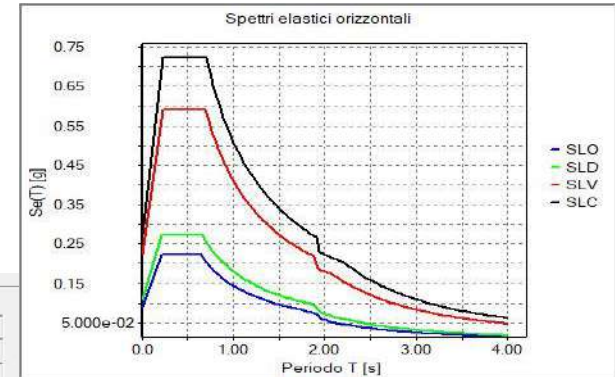
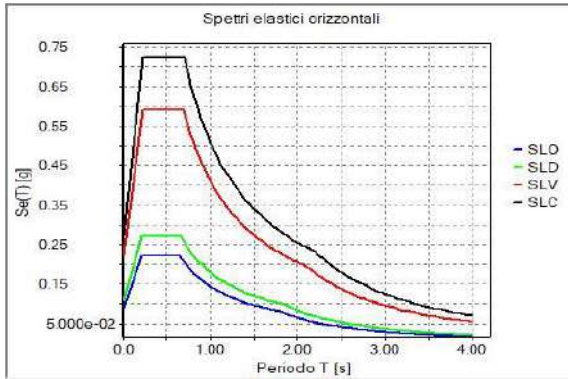
- $T_{is} > 3 T_{bf}$
- $T_{is} > 2s$
- $F_{is} < F_{bf}$



# Confronto spettri di progetto

Modo	Frequenza	Periodo	Acc. Spettrale	M efficace X x g	%	M efficace Y x g	%
	Hz	sec	g	daN		daN	
1	1.184	0.844	0.325	1.340e+06	67.3	5907.06	0.3
2	1.266	0.790	0.347	1.099e+04	0.6	1.431e+06	71.8

Modo	Frequenza	Periodo	Acc. Spettrale	M efficace X x g	%	M efficace Y x g	%
	Hz	sec	g	daN		daN	
1	0.404	2.477	0.123	1.493e+06	75.9	3.149e+04	1.6
2	0.418	2.394	0.132	4.070e+04	2.1	1.709e+06	86.9



Vertice della maglia elementare

id nodo	Longitudine	Latitudine
28511	12.416	41.880
28512	12.483	41.880
28290	12.482	41.930
28289	12.415	41.930

Coordinate geografiche

Località:

Longitudine:  Latitudine:

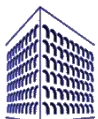
Parametri per le forme spettrali

	Pver	Tr	ag [g]	Fo	T*c
SLO	81	45	0,049	2,520	0,270
SLD	63	75	0,060	2,530	0,280
SLV	10	712	0,124	2,650	0,310
SLC	5	1462	0,192	2,650	0,320

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Vita Vn [anni]	Coefficiente uso Cu	Periodo Vr [anni]	Livello di sicurezza
<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="1.5"/>	<input type="text" value="75"/>	<input type="text" value="100"/>

Nota: per il calcolo dei parametri sismici  
 1) inserire le coordinate geografiche 2) Introdurre Vn e Cu  
 Per le isole è possibile utilizzare come località: gruppo isole N (con N = 1,2,3,4,5)



Ing. Gennj Venturini

#### 7.10.4.2 CONTROLLO DI MOVIMENTI INDESIDERATI

Controllo baricentri

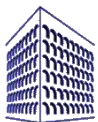
Per minimizzare gli effetti torsionali, la proiezione del centro di massa della sovrastruttura sul piano degli isolatori ed il centro di rigidezza dei dispositivi o, nel caso di sottostruttura flessibile, il centro di rigidezza del sistema sottostruttura-isolamento devono essere, per quanto possibile, coincidenti. Inoltre, nei casi in cui il sistema di isolamento affidi a pochi dispositivi le sue capacità dissipative e ricentranti rispetto alle azioni orizzontali, occorre che tali dispositivi siano, per quanto possibile, disposti in maniera da minimizzare gli effetti torsionali (ad esempio perimetralmente) e siano in numero staticamente ridondante. Nel caso dei ponti, si potranno trascurare gli effetti dell'eccentricità accidentale delle masse.

Compressioni uniformi

Per minimizzare le differenze di comportamento dei dispositivi, le tensioni di compressione a cui lavorano devono essere per quanto possibile uniformi. Nel caso di sistemi d'isolamento che utilizzino dispositivi di diverso tipo, particolare attenzione deve essere posta sui possibili effetti della differente deformabilità verticale sotto le azioni sia statiche che sismiche.

Nessun isolatore in trazione

Per evitare o limitare azioni di trazione nei dispositivi, gli interassi della maglia strutturale devono essere scelti in modo tale che il carico verticale "V" di progetto agente sul singolo isolatore sotto le azioni sismiche e quelle concomitanti risulti essere di compressione o, al più, nullo ( $V \geq 0$ ). Nel caso in cui dall'analisi risultasse  $V < 0$ , occorre che la tensione di trazione sia in modulo inferiore al minore tra  $2G$  ( $G$  modulo di taglio del materiale elastomerico) e  $1 \text{ MPa}$ , negli isolatori elastomerici, oppure, per i dispositivi di altro tipo, dimostrare, attraverso adeguate prove sperimentali, che il dispositivo è in grado di sostenere tale condizione, oppure predisporre opportuni vincoli in grado di assorbire integralmente la trazione.



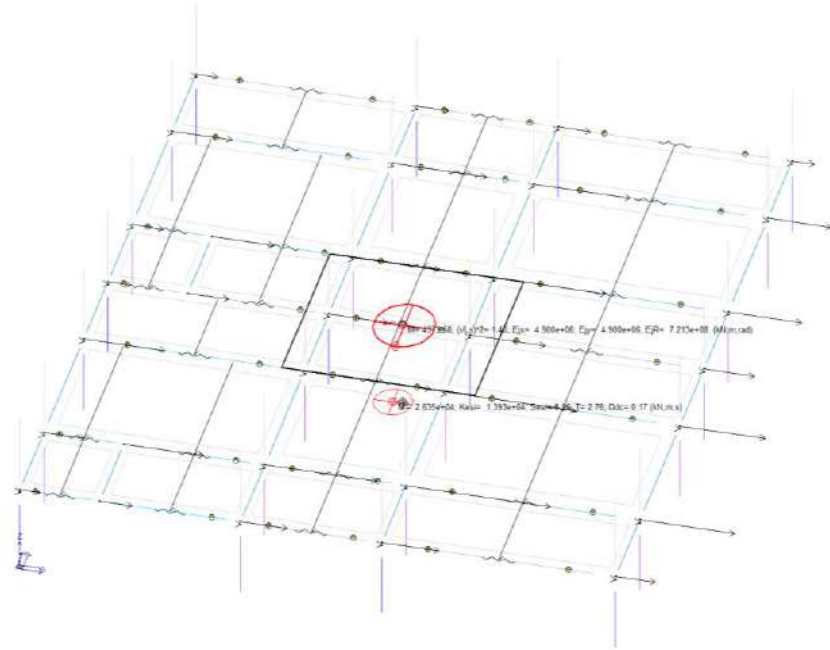
# Modellazione numerica di strutture con isolatori sismici, travi PREM e Pilastri a Nodo Umido: Applicazioni con PRO\_SAP e confronto con le strutture tradizionali



Controllo baricentri

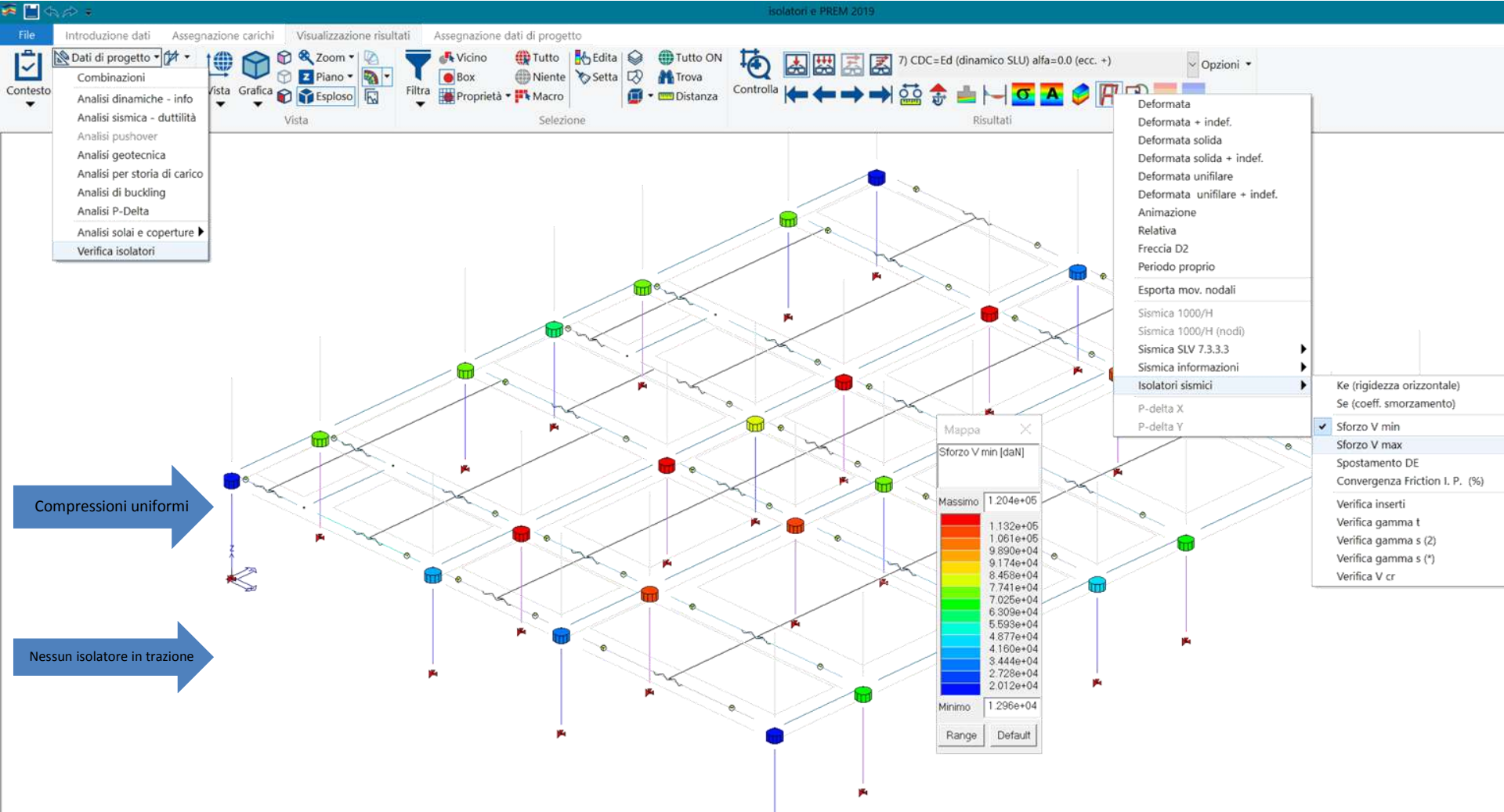
Nel contesto assegnazione carichi è possibile controllare la posizione del baricentro delle masse e di quella del sistema di isolamento.

Devono essere per quanto possibile coincidenti.



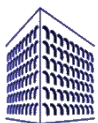


# Modellazione numerica di strutture con isolatori sismici, travi PREM e Pilastri a Nodo Umido: Applicazioni con PRO\_SAP e confronto con le strutture tradizionali



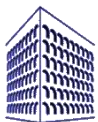
Compressioni uniformi

Nessun isolatore in trazione



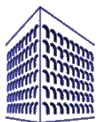
# Isolatori sismici

1. Modellazione
2. Assegnazione carichi
3. Controllo risultati
- 4. Progettazione e verifiche**



## Verifiche negli isolatori

- La circolare fornisce alcune formulazioni per la verifica degli isolatori, nel capitolo 11 dedicato ai materiali.
- Le verifiche sono disponibili nel menù relativo agli isolatori sismici.



# Verifiche

## C11.9.7 ISOLATORI ELASTOMERICI

Sebbene la validità degli isolatori elastomerici venga verificata sperimentalmente, è comunque opportuno che la loro progettazione rispetti le seguenti limitazioni:

la tensione massima  $\sigma_s$  agente nella generica piastra in acciaio sia non maggiore di

$$\sigma_s = 1,3 V (t_1 + t_2) / (A_r t_s),$$

$$\gamma_t \leq 5$$

$$\gamma_s \leq \gamma^* / 1,5 \leq 2$$

Il carico massimo verticale agente sul singolo isolatore dovrà essere inferiore al carico critico  $V_{cr}$  diviso per un coefficiente di sicurezza 2,0.

dove:

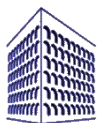
$t_1$  e  $t_2$  sono gli spessori dei due strati di elastomero direttamente a contatto con la piastra  $t_s$  è il suo spessore ( $t_s \geq 2\text{mm}$ ), deve risultare inferiore alla tensione di snervamento dell'acciaio  $f_{yk}$ .

$\gamma^*$  è il valore massimo della deformazione di taglio raggiunto nelle prove di qualificazione relative all'efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio, senza segni di rottura.

$A_r$  è l'area ridotta efficace dell'isolatore calcolata come:

$A_r = (\varphi - \sin\varphi)D^2/4$  con  $\varphi = 2 \arccos(d_2/D)$  per isolatori circolari di diametro  $D$

$A_r = \min [(b_x - d_{rftx} - d_{Ex}) \cdot (b_y - d_{rfty} - 0,3d_{Ey}), (b_x - d_{rftx} - 0,3d_{Ex}) \cdot (b_y - d_{rfty} - d_{Ey})]$  per isolatori rettangolari di lati  $b_x$  e  $b_y$  e per uno spostamento relativo tra le due facce (superiore e inferiore) degli isolatori, prodotti dalla azione sismica agente nelle direzioni  $x$  ed  $y$  ( $d_{Ex}$ ,  $d_{Ey}$ )



$V_{cr}$  è il carico critico calcolato come:

$$V_{cr} = G_{din} A_r S_1 b_{min} / t_e$$

dove:

$b_{min} = \min(b_x, b_y)$  per isolatori rettangolari

$b_{min} = D$  per isolatori circolari.

$\gamma_c = 1,5V / (S_1 G_{din} A_r)$  è la deformazione di taglio dell'elastomero prodotta dalla compressione;

$\gamma_s = d_2 / t_e$  è la deformazione di taglio dell'elastomero per lo spostamento sismico totale, inclusi gli effetti torsionali;

$\gamma_\alpha = a^2 / 2t_1 t_e$  è la deformazione di taglio dovuta alla rotazione angolare

dove:

$a^2 = (\alpha_x b_x^2 + \alpha_y b_y^2)$ , con  $\alpha_x$  ed  $\alpha_y$  che rappresentano le rotazioni rispettivamente attorno alle direzioni x ed y nel caso di un isolatore rettangolare;

$a^2 = 3 \alpha D^2 / 4$  con  $\alpha = (\alpha_x^2 + \alpha_y^2)^{1/2}$  nel caso di un isolatore circolare

$\gamma_t = \gamma_c + \gamma_s + \gamma_\alpha$  deformazione di taglio totale di progetto;

$E_c$  modulo di compressibilità assiale valutato (in MPa) come

$$E_c = (1 / (6G_{din} S_1^2) + 4 / (3E_b))^{-1}$$

dove:

$G_{din}$  modulo di taglio dinamico dell'elastomero;

$E_b$  modulo di compressibilità volumetrica della gomma, da assumere pari a 2000 MPa in assenza di determinazione diretta;

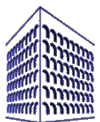
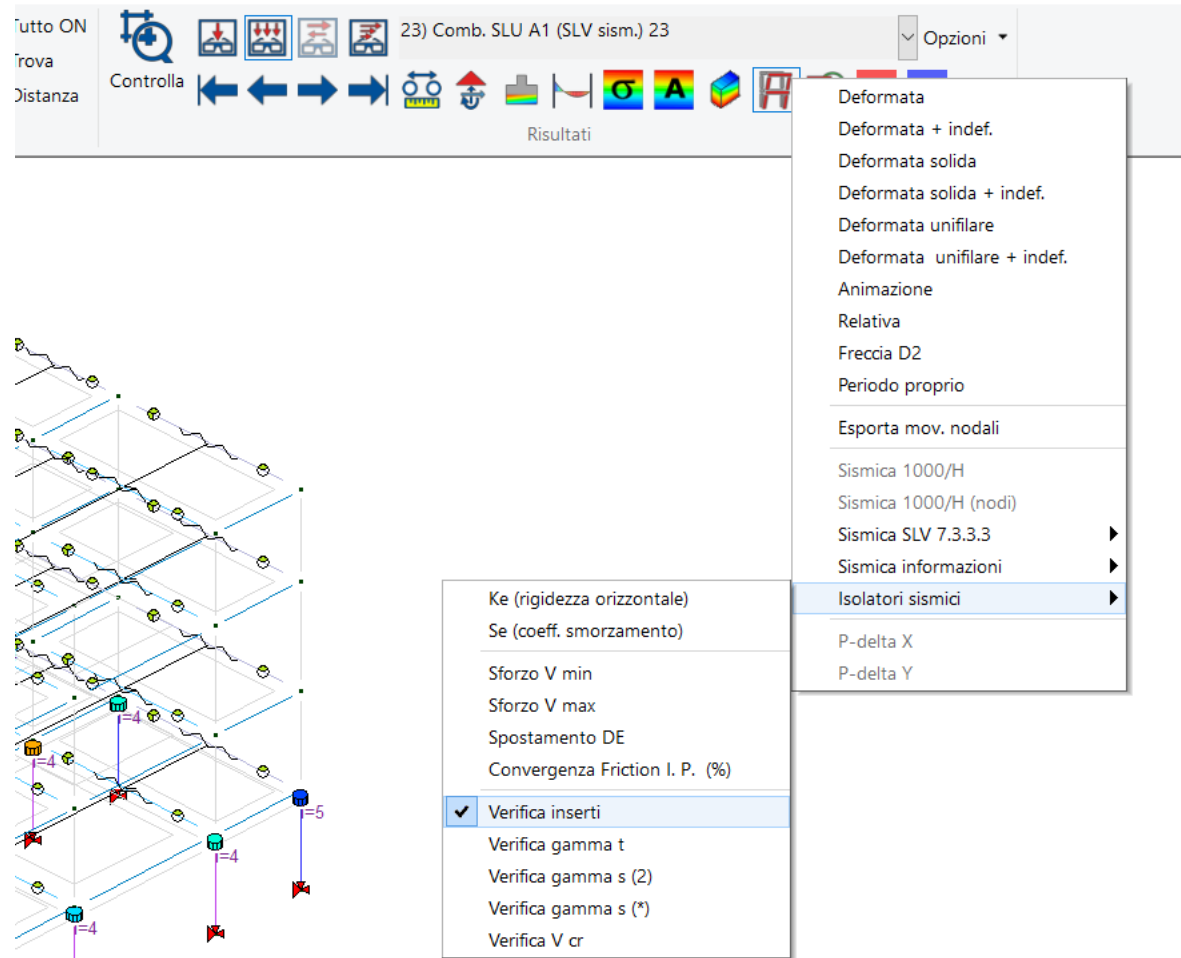
$d_{rftx}, d_{rfty}$  spostamenti relativi tra le due facce (superiore e inferiore) degli isolatori, prodotti dalle azioni di ritiro, *fluage* e termiche (ridotte al 50%), ove rilevanti;

$d_E = \text{Max} \{ [(d_{Ex} + d_{rftx})^2 + (0,3d_{Ey} + d_{rfty})^2]^{1/2}, [(0,3d_{Ex} + d_{rftx})^2 + (d_{Ey} + d_{rfty})^2]^{1/2} \};$

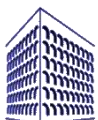


isolatori e PREM 2019

- Le verifiche sono normalizzate, cioè
- OK se  $< 1$



- *Sforzo  $V_{min}$* : rappresenta il valore dello sforzo normale minimo negli isolatori sismici (positivo se di compressione) ottenuto considerando tutte le combinazioni sismiche
- *Sforzo  $V_{max}$* : rappresenta il valore dello sforzo normale massimo negli isolatori sismici (positivo se di compressione) ottenuto considerando tutte le combinazioni sismiche
- *Spostamento DE*: rappresenta lo spostamento ottenuto con le formule del §C11.9.7 della circolare 617/2009 del C.S.LL.PP. considerando tutte le combinazioni sismiche
- *Convergenza Friction I.P. (%)*: consente di valutare l'affidabilità dei risultati. I risultati dovrebbero essere considerati soddisfacenti quando questo parametro ha valore  $< 5\%$ . Risultato disponibile solo per isolatori del tipo friction pendulum
- *Verifica inserti*: rappresenta il rapporto tra la tensione massima  $\sigma_s$  agente nella generica piastra in acciaio e  $f_{yk}$  ottenuto considerando tutte le combinazioni sismiche
- *Verifica gamma t*: rappresenta il valore della deformazione massima a taglio diviso 5 ottenuto considerando tutte le combinazioni sismiche
- *Verifica gamma s (2)*: rappresenta il valore della deformazione a taglio indotta dallo spostamento sismico totale diviso 2 ottenuto considerando tutte le combinazioni sismiche
- *Verifica gamma s (\*)*: rappresenta il valore della deformazione a taglio indotta dallo spostamento sismico totale amplificato del 50% diviso gamma s (\*). Gamma s (\*) è il valore massimo della deformazione di taglio raggiunto nelle prove di qualificazione relative all'efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio, senza segni di rottura. Il valore è ottenuto considerando tutte le combinazioni sismiche
- *Verifica  $V_{cr}$* : rappresenta il rapporto tra il carico massimo verticale agente sul singolo isolatore e il carico critico  $V_{cr}$  diviso per un coefficiente di sicurezza 2 ottenuto considerando tutte le combinazioni sismiche



# Isolatori sismici: progetto delle strutture in campo sostanzialmente elastico

## 7.10.2. REQUISITI GENERALI E CRITERI PER IL LORO SODDISFACIMENTO

Il sistema d'isolamento è composto dai dispositivi d'isolamento e, eventualmente, di dissipazione, ciascuno dei quali espleta una o più delle seguenti funzioni:

- sostegno dei carichi verticali con elevata rigidezza in direzione verticale e bassa rigidezza o resistenza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti orizzontali;
- dissipazione di energia con meccanismi isteretici e/o viscosi;
- ricentraggio del sistema;
- vincolo laterale, con adeguata rigidezza sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici).

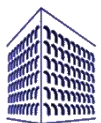
Fanno parte integrante del sistema d'isolamento gli elementi di connessione, nonché eventuali vincoli supplementari disposti per limitare gli spostamenti orizzontali dovuti ad azioni non sismiche (ad es. vento).

Detta "interfaccia d'isolamento" la superficie di separazione sulla quale è attivo il sistema d'isolamento, si definiscono:

- "sottostruttura", la parte della struttura posta al di sotto dell'interfaccia del sistema d'isolamento e che include le fondazioni, avente in genere deformabilità orizzontale trascurabile e soggetta direttamente agli spostamenti imposti dal movimento sismico del terreno;
- "sovrastuttura", la parte della struttura posta al di sopra dell'interfaccia d'isolamento e, perciò, isolata.

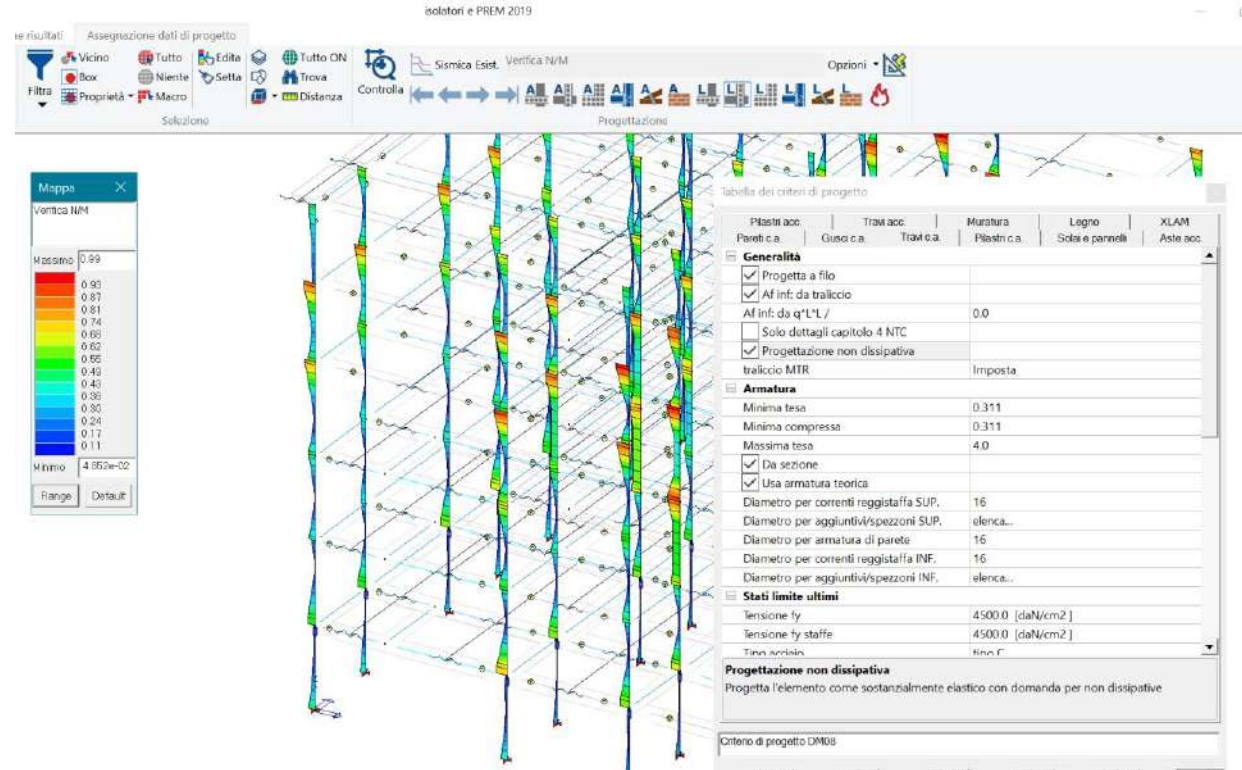
La sovrastuttura e la sottostruttura si devono mantenere in campo sostanzialmente elastico. Per questo la struttura può essere progettata con riferimento ai particolari costruttivi richiesti per le costruzioni caratterizzate, allo  $SLV$ , da  $a_g S \leq 0,075g$ , con deroga, per le strutture in c.a., a quanto previsto al § 7.4.6 e al § 7.9.6.

Un'affidabilità superiore è richiesta al sistema d'isolamento per il ruolo critico che esso svolge. Tale affidabilità si ritiene conseguita se il sistema d'isolamento è progettato e verificato sperimentalmente secondo quanto stabilito nel § 11.9.





# Isolatori sismici: progetto delle strutture in campo sostanzialmente elastico C7.10.2



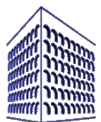
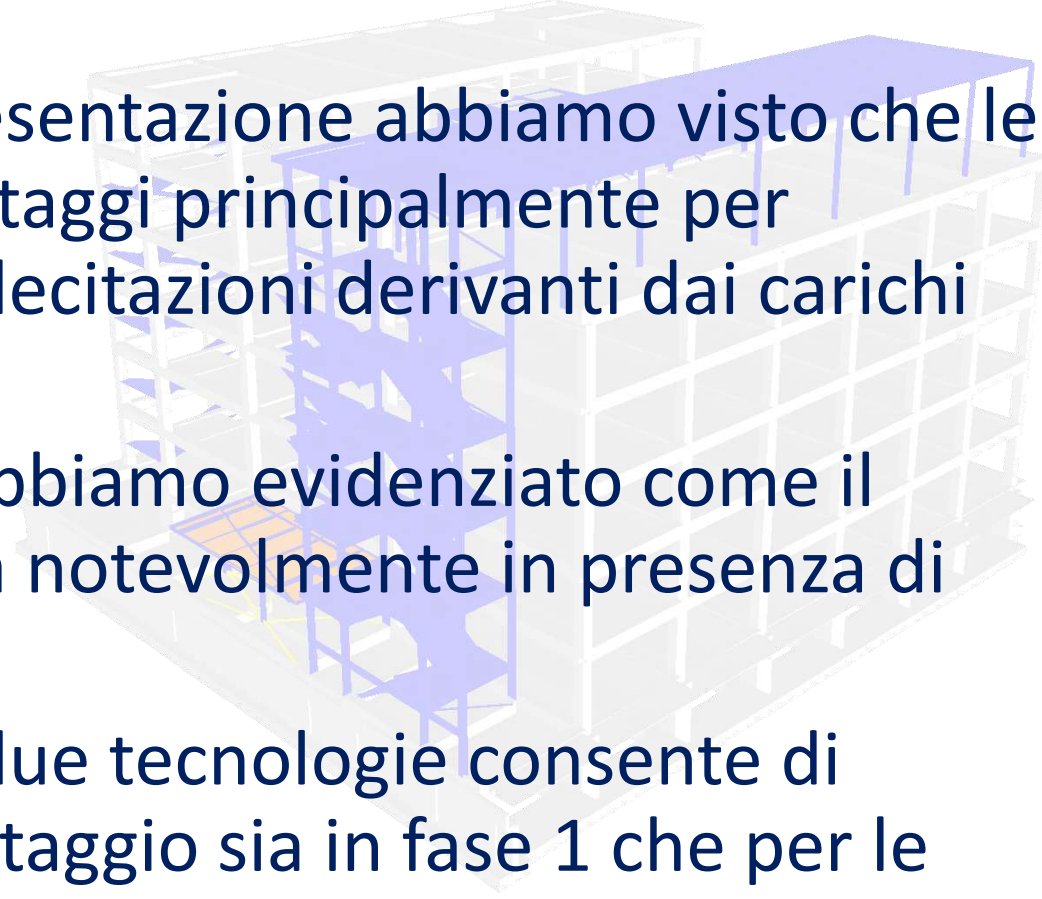
scosse successive.

Il comportamento di una costruzione con isolamento sismico risulta valutabile, con una buona approssimazione, se i suoi elementi strutturali non subiscono grandi escursioni in campo plastico. La completa plasticizzazione della sovrastruttura può condurre, in alcuni casi particolari (strutture con uno o due piani, con alti periodi di isolamento, scarsa ridondanza e basso incrudimento post-elastico), a notevoli richieste di duttilità. Per questo motivo la *s sovrastruttura* e la *sottostruttura* devono avere comportamento strutturale non dissipativo, il che, per azioni sismiche relative allo SLV, implica un danneggiamento strutturale molto più limitato, quasi nullo, rispetto a quello di una struttura antisismica convenzionale, per la quale si ammette che, per lo stesso livello di azione, si verifichino notevoli richieste di duttilità.

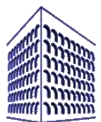
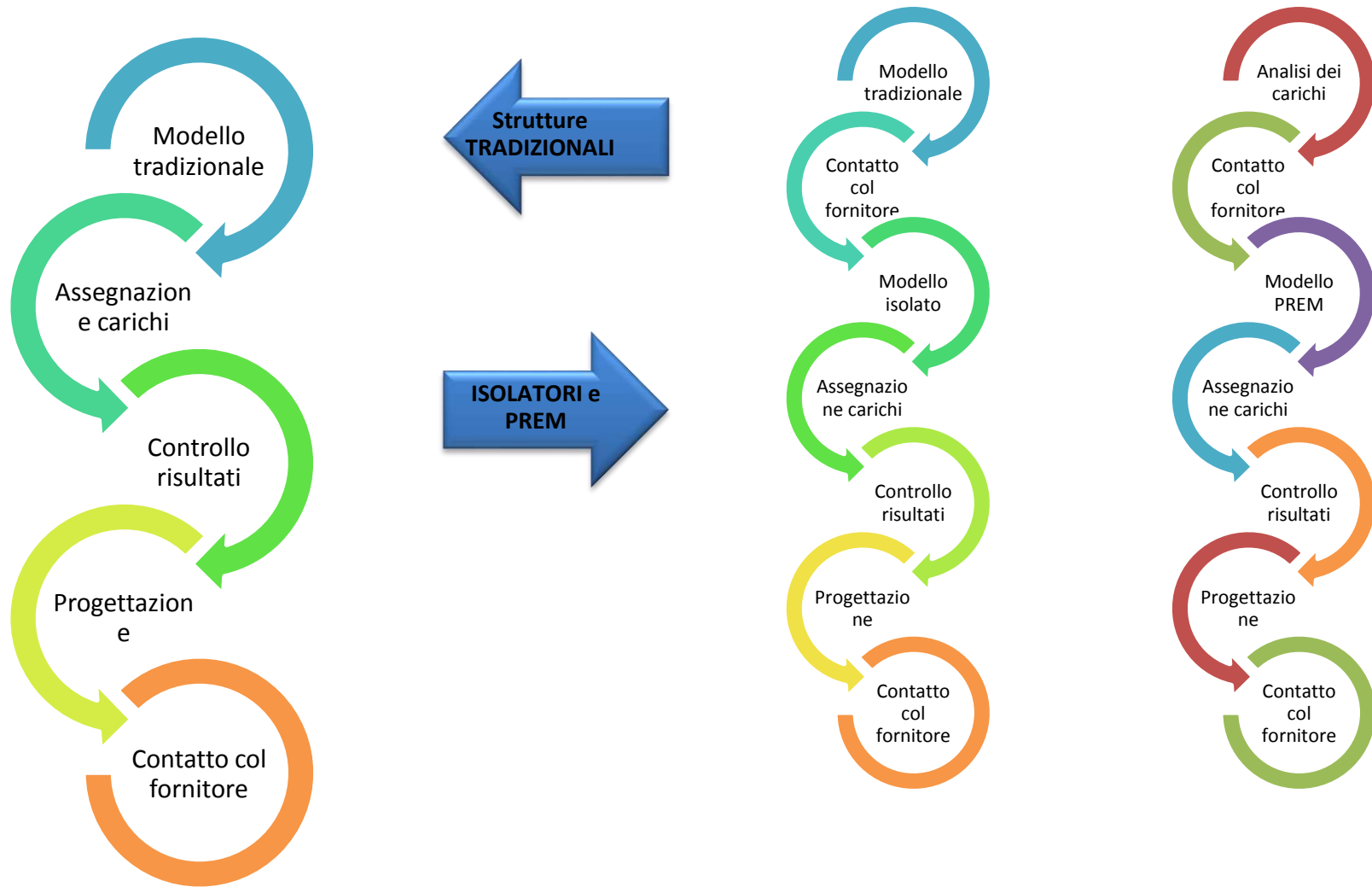


# Contemporaneità di PREM e isolatori: i vantaggi

- Nella **parte 1** della presentazione abbiamo visto che le travi PREM danno vantaggi principalmente per quanto riguarda le sollecitazioni derivanti dai carichi permanenti di fase 1.
- Nella **parte 2** invece abbiamo evidenziato come il taglio sismico si riduca notevolmente in presenza di isolatori sismici.
- La **sinergia** di queste due tecnologie consente di ottenere il doppio vantaggio sia in fase 1 che per le azioni sismiche.



# Modellazione numerica di strutture con isolatori sismici, travi PREM e Pilastri a Nodo Umido: Applicazioni con PRO\_SAP e confronto con le strutture tradizionali



Grazie per l'attenzione!

Ing. Gennj Venturini

[venturini@2si.it](mailto:venturini@2si.it)

**www.2si.it**

